



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

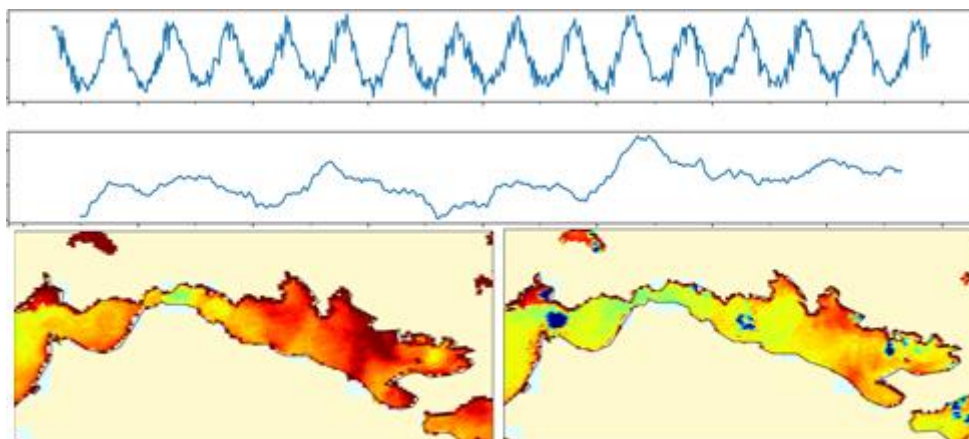
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

# Ανάλυση Χρονοσειρών Θερμοκρασίας και Χλωροφύλλης Επιφανειακών Υδάτων από Τηλεπισκοπικά Δεδομένα στην Ανατολική Μεσόγειο

---

Διπλωματική Εργασία



Κουρνοπούλου Αντωνία  
Αθήνα, Ιούνιος 2019

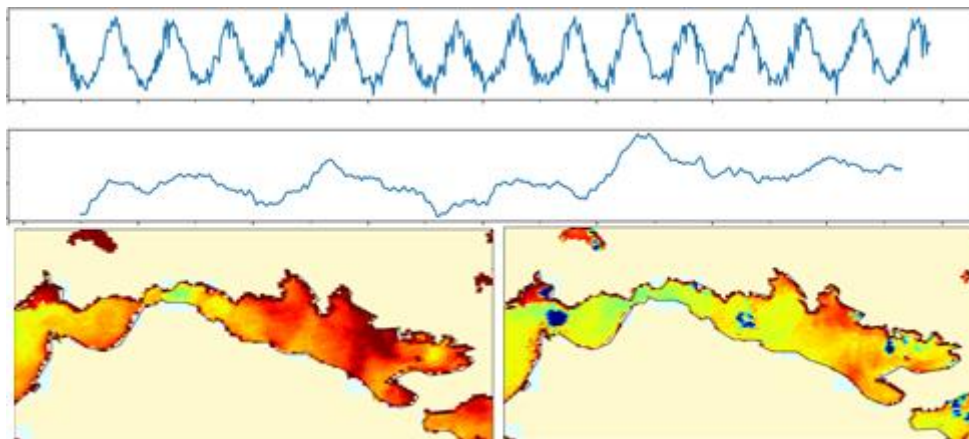


**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF  
ATHENS**

**SCHOOL OF RURAL AND SURVEING ENGINEERING**  
**Remote Sensing Laboratory**

# **Time Series Analysis of Sea Surface Temperature & Chlorophyll-a through Remote Sensing at Eastern Mediterranean Sea**

Diploma thesis



**Kournopoulou Antonia**  
Athens, June 2019



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

Ανάλυση Χρονοσειρών Θερμοκρασίας και Χλωροφύλλης  
Επιφανειακών Υδάτων από Τηλεπισκοπικά Δεδομένα στην  
Ανατολική Μεσόγειο

Διπλωματική Εργασία

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Καράντζαλος

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή την 5<sup>η</sup> Ιουλίου 2019.

(Υπογραφή)

.....

Κωνσταντίνος Καράντζαλος

Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

(Υπογραφή)

.....

Μαρία Παπαδοπούλου

Καθηγήτρια ΕΜΠ

(Υπογραφή)

.....

Βασιλεία Καραθανάση

Καθηγήτρια ΕΜΠ



# RSLab

Remote Sensing Laboratory  
National Technical University of Athens

✓ Sensing ✓ Analytics ✓ Monitoring



Copyright ©—All rights reserved Αντωνία Κουρνοπούλου, 2019.  
Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Το περιεχόμενο αυτής της εργασίας δεν απηχεί απαραίτητα τις απόψεις του Τμήματος, του Επιβλέποντα, ή της επιτροπής που την ενέκρινε.

Υπεύθυνη Δήλωση

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιικής εργασίας, και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιική εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιική εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

(Υπογραφή)

.....

Αντωνία Κουρνοπούλου

# Περίληψη

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, το θαλάσσιο εμπόριο και οι μεταφορές επηρεάζουν σημαντικά το θαλάσσιο περιβάλλον, ιδίως στις παράκτιες περιοχές. Αυτές οι δραστηριότητες επιβάλλουν συνεχείς και ακριβείς μεθόδους παρακολούθησης τόσο για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος όσο και για τη διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας. Τις τελευταίες δεκαετίες η τεχνολογία των δορυφόρων έχει βελτιωθεί σημαντικά ενώ αρκετοί αλγόριθμοι και στατιστικά μοντέλα εκτίμησης των παραμέτρων της ποιότητας των υδάτων έχουν αναπτυχθεί, με αποτέλεσμα τα τηλεπισκοπικά δεδομένα να χρησιμοποιούνται ευρέως για τη μελέτη τους τόσο χρονικά όσο και χωρικά.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, αναπτύχθηκαν αυτοματισμοί για την εξαγωγή χρονοσειρών από διαχρονικά τηλεπισκοπικά δεδομένα δεκαπενταετίας καθώς και για την αυτοματοποιημένη στατιστική ανάλυσή τους. Συγκεκριμένα, διερευνήθηκαν οι χωροχρονικές διακυμάνσεις της θαλάσσιας επιφανειακής θερμοκρασίας και της χλωροφύλλης-α και οι συσχετίσεις μεταξύ τους σε 30 περιοχές περίπου της Ανατολικής Μεσογείου. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν όλα τα ημερήσια δορυφορικά δεδομένα Aqua-MODIS για μια χρονική περίοδο δεκαπενταετίας, ήτοι 2002-2017. Για τη στατιστική ανάλυσή τους δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα εποχικότητας και τάσης, ενώ έγινε σύγκριση τους με τις κατακρημνίσεις σε κάθε περιοχή. Από την περαιτέρω ανάλυση των στατιστικών στοιχείων περιγράφονται αναλυτικά συγκεκριμένες περιοχές τόσο στην παράκτια ζώνη όσο και στην ανοιχτή θάλασσα λόγω των ιδιαίτερων ωκεανογραφικών χαρακτηριστικών τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα δορυφορικά δεδομένα A-MODIS μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στη διαχρονική παρακολούθηση των συγκεκριμένων παραμέτρων ποιότητας των υδάτων. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις παράκτιες περιοχές όπου λόγω της υπερεκτίμησης της χλωροφύλλης που διαπιστώσαμε στα διαθέσιμα προϊόντα, υπάρχει ανάγκη για αξιολόγηση των δορυφορικών προϊόντων με τη χρήση *in-situ* δεδομένων και την προσαρμογή του αλγορίθμου εκτίμησης της χλωροφύλλης σε κάθε περιοχή.

**Λέξεις κλειδιά:** χλωροφύλλη-α, θερμοκρασία επιφανειακού νερού, φυτοπλαγκτόν, MODIS, χρονοσειρές, εποχικότητα, τάση

# Abstract

Human activities, maritime trade and transport have a significant impact in the marine environment, especially in the coastal areas. These activities require the establishment of operational monitoring services for marine ecosystems as well as for ensuring human health. To this end, during the last decades earth observation satellites have been considerably improved and various algorithms and statistical models have been developed for estimating the water quality in marine environments at different temporal and spatial scales.

In this diploma thesis, automated technics for the extraction of time series remote sensing data as well as their automated statistical analysis were developed. In particular, spatio-temporal variations and correlations between sea surface temperature and chlorophyll-a were investigated, in the area of Eastern Mediterranean Sea. In order to do so, daily chl-a and SST products from the Aqua-MODIS satellite were collected for the period 2002-2017. The data were analysed using additive seasonal decomposition and compared with the precipitation levels in each region. Based on a further analysis, trends and attributes of specific coastal and marine waters with interesting oceanographic conditions were detailed. Results indicated that overall the A-MODIS satellite products can significantly contribute to spatio-temporal monitoring of specific water quality parameters. However, more research at coastal areas is required to address the observed chl-a overestimation through the elaboration and validation of *in-situ* data and the development of regional estimation models.

**Key words:** chlorophyll-a sea surface temperature, phytoplankton, MODIS, time series, seasonality, trend

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κλείνει και ένας πολύ σημαντικός κύκλος της ζωής μου, αυτός των προπτυχιακών σπουδών. Είναι πολύ σημαντικό για εμένα που «σφραγίζω» τις σπουδές μου, έχοντας ασχοληθεί με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, το οποίο αποτελεί κινητήρια δύναμη, στην πορεία μου από εδώ και πέρα.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστώ τον επιβλέπων καθηγητή της παρούσας εργασίας, κ. Κωνσταντίνο Καράντζαλο, που μου έδωσε την δυνατότητα να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα. Επιπλέον, η καθοδήγηση, οι συμβουλές και οι γνώσεις που μου προσέφερε κατά την εκπόνηση της εργασίας, αποτέλεσαν καταλυτικό παράγοντα στην ολοκλήρωση της.

Θέλω ακόμα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την Κατερίνα Κικάκη, η οποία γνωρίζοντας το ενδιαφέρον μου για το θαλάσσιο περιβάλλον, με ώθησε να αναλάβω το συγκεκριμένο θέμα και ήταν δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου. Η διαρκής υποστήριξη της και οι συμβουλές της διαδραμάτισαν καθοριστικό ρόλο μέχρι το τέλος της εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω προσωπικά τον συνάδελφο, και κυρίως φίλο, Αλέξανδρο Βυθούλια, με τον οποίο βιώσαμε μαζί αυτό το τελευταίο στάδιο των σπουδών μας. Η συμβολή του ήταν πολύ σημαντική, τόσο για τις γνώσεις που μου προσέφερε, βοηθώντας στο προγραμματιστικό κομμάτι της εργασίας, όσο για τις συζητήσεις μας και την ενθάρρυνση του. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ, στις φίλες και τους φίλους, συναδέλφους και μη, που ήταν δίπλα μου σε όλη αυτή τη διαδρομή και μου προσέφεραν ανεκτίμητες εμπειρίες και αναμνήσεις.

# Περιεχόμενα

Περίληψη .....	1
Abstract .....	2
Ευχαριστίες.....	3
1. Εισαγωγή .....	6
1.1. Κίνητρο και Στόχος.....	7
1.2. Συνεισφορά.....	7
2. Θεωρητικό υπόβαθρο .....	9
2.1. Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για την προστασία των υδάτων .....	9
2.2. Δείκτες ποιότητας νερού .....	11
2.2.1. Χλωροφύλλη-α (chlorophyll-a ή chl-a).....	11
2.2.2. Θερμοκρασία.....	13
2.2.3. Διαλυμένο οξυγόνο (Dissolved Oxygen, DO) .....	13
2.2.4. Ενεργός οξύτητα (pH) .....	14
2.2.5. Θρεπτικά Συστατικά .....	14
2.4. Μέθοδοι Παρατήρησης της Γης και Τηλεπισκόπηση .....	14
2.4.1. Ο Δέκτης MODIS .....	15
2.4.2. Τα προϊόντα του MODIS για τους ωκεανούς .....	19
2.4.3. A-MODIS Επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας.....	20
2.4.4. A-MODIS Χλωροφύλλη-α.....	21
3. Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	23
3.1. Σχετικές ερευνητικές εργασίες.....	23
4. Μεθοδολογία.....	26
4.1. Περιοχή Μελέτης.....	26
4.1.1. Μαλιακός Κόλπος.....	27
4.1.2. Αντικυκλώνας Ιεράπετρας.....	28
4.1.3. Κόλπος της Αντίκυρας.....	29

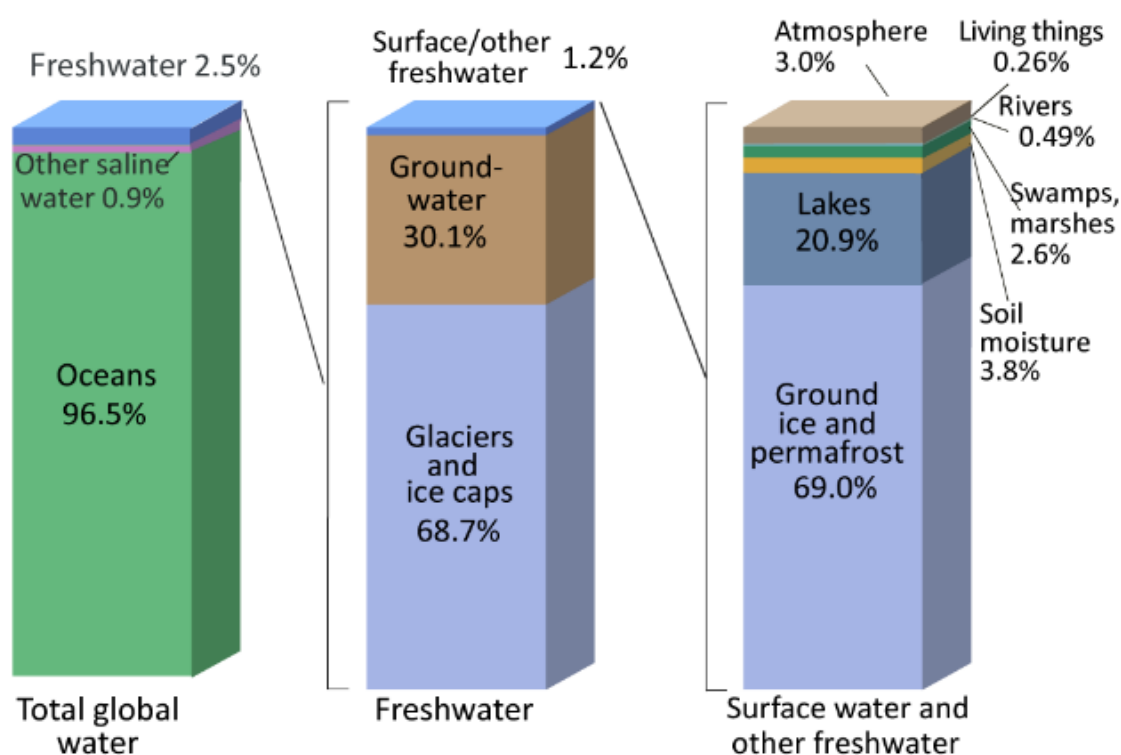


4.1.4. Σαρωνικός Κόλπος.....	30
4.1.5. Κόλπος Αλεξανδρούπολης – Εκβολές Έβρου.....	31
4.2. Συλλογή δεδομένων .....	33
4.2.1. Συλλογή Δορυφορικών Δεδομένων MODIS .....	33
4.2.2. Συλλογή δεδομένων βροχόπτωσης .....	34
4.3. Εξαγωγή Δεδομένων .....	35
4.4. Επεξεργασία και Ανάλυση Δεδομένων.....	40
4.5. Αθροιστικό Μοντέλο Ανάλυσης Χρονοσειρών .....	41
4.6. Ανάλυση χρονοσειρών .....	44
5. Αποτελέσματα και Ανάλυση .....	46
5.1. Μαλιακός Κόλπος .....	46
5.2. Αντικυκλώνας Ιεράπετρας.....	50
5.3. Κόλπος Αντίκυρας.....	56
5.4. Σαρωνικός Κόλπος.....	61
5.5. Κόλπος Αλεξανδρούπολης – Εκβολές Έβρου.....	68
6. Συμπεράσματα και Προοπτικές.....	74
6.1. Συμπεράσματα.....	74
6.2. Προοπτικές .....	75
Βιβλιογραφία .....	76
Διεθνής Βιβλιογραφία .....	76
Ελληνική Βιβλιογραφία .....	77
Σχετική Βιβλιογραφία .....	80
Διαδικτυακοί τόποι .....	80
Παράρτημα Εικόνων .....	82
Παράρτημα Πινάκων.....	84

# 1. Εισαγωγή

Οι πρώτοι ζωντανοί οργανισμοί αναπτύχθηκαν στο νερό, το οποίο αποτελεί αναγκαίο στοιχείο για την επιβίωση όλων των ζωντανών οργανισμών του πλανήτη. Αποτελεί μία ανανεώσιμη πηγή, αφού ανακυκλώνεται συνεχώς μέσω του υδρολογικού κύκλου. Η συνολική ποσότητα του νερού στον πλανήτη εκτιμάται στα  $1386 \text{ km}^3$ , ενώ το 96.5% αυτού βρίσκεται στους ωκεανούς και τις θάλασσες (Εικόνα 1). Μόνο το 2.5% αποτελεί γλυκό νερό, το οποίο μοιράζεται σε στους πάγους (68.7%), το υπέδαφος (30.1%) και επιφανειακά ύδατα (1.2%) [48].

## Where is Earth's Water?



Εικόνα 1: Η κατανομή του νερού στον πλανήτη (Πηγή: <https://www.usgs.gov/>)

Γίνεται προφανές πως η θάλασσα, είτε πρόκειται για κλειστές λεκάνες όπως η Μεσόγειος, είτε για ωκεανούς, διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση της ζωής και την ανάπτυξη του πλανήτη. Ταυτόχρονα, οι ανθρώπινες δραστηριότητες, το θαλάσσιο εμπόριο και οι μεταφορές επηρεάζουν σημαντικά το θαλάσσιο περιβάλλον. Ιδιαίτερα στις παράκτιες περιοχές και τους κλειστούς κόλπους, όπου απορρίπτονται τοξικές και θρεπτικές ουσίες, όπως τα βιομηχανικά απόβλητα και τα φυτοφάρμακα, οι επιπτώσεις είναι ιδιαίτερα σημαντικές, οδηγώντας στην διατάραξη των οικοσυστημάτων και τον ευτροφισμό.

Συνεπώς, αυτές οι επαγόμενες δραστηριότητες επιβάλλουν συνεχείς και ακριβείς μεθόδους για την παρακολούθηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Η συμβατική μέθοδος παρακολούθησης, απαιτεί την επιτόπια δειγματοληψία και την εργαστηριακή ανάλυση του δείγματος, γεγονός που προσφέρει αποτελέσματα μεγάλης ακρίβειας αλλά καθιστά δύσκολη την διαρκή παρακολούθηση των θαλασσών λόγω του μεγάλου κόστους αλλά και λόγω της μεγάλης κλίμακας, που δεν μπορεί να αξιολογηθεί από σημειακές μετρήσεις [3].

Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης έρχεται να αντισταθμίσει τα προβλήματα που δημιουργούνται από την παραπάνω διαδικασία, καθιστώντας δυνατή την παρακολούθηση περιοχών μεγάλης κλίμακας, σε καθημερινή βάση, παρέχοντας αξιόπιστα αποτελέσματα για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των θαλασσών χωρίς να απαιτείται η άμεση επαφή με την υπό έρευνα περιοχή.

### **1.1. Κίνητρο και Στόχος**

Κίνητρο στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτέλεσε η ανάπτυξη αυτοματισμών και η εφαρμογή νέων τεχνολογιών και μεθόδων για την παρακολούθηση και εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων, προς την κατεύθυνση της ανάπτυξης βοηθητικών εργαλείων μακροπρόθεσμης παρακολούθησης των υδάτινων οικοσυστημάτων. Επιπλέον, στη σύγχρονη εποχή, που η οικονομία της αγοράς βασίζεται στον ανταγωνισμό και τη συσσώρευση, στη λήψη των αποφάσεων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα το κέρδος [39]. Το περιβάλλον αποτελεί ένα από τους πρώτους τομείς που πλήττονται από την κατάσταση αυτή και έτσι, έχει δημιουργηθεί η ανάγκη να βρεθούν οικονομικότεροι αλλά ταυτόχρονα αξιόπιστοι μέθοδοι παρακολούθησης του φυσικού περιβάλλοντος και αντιμετώπισης των προβλημάτων του.

Προς την κατεύθυνση αυτή στόχος της διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η αποδοτική εξαγωγή πληροφορίας από μεγάλες συλλογές δορυφορικών δεδομένων (π.χ. ημερήσια δεδομένα δεκαπενταετίας) και η αποδοτική ανάλυσή τους για εφαρμογές παρακολούθησης των παράκτιων και θαλάσσιων υδάτων.

### **1.2. Συνεισφορά**

Στο πλαίσιο της εργασίας αναπτύχθηκαν αυτοματισμοί για την εξόρυξη/ εξαγωγή χρονοσειρών από ημερήσια διαχρονικά προϊόντα MODIS με αλγορίθμους σε python. Επίσης, αναπτύχθηκαν αλγόριθμοι για την αυτόματη στατιστική ανάλυση των χρονοσειρών και την οπτικοποίηση των δεδομένων με βιβλιοθήκες και κώδικα σε python. Τα εργαλεία αυτά εφαρμόστηκαν σε 30 περίπου παράκτιες και θαλάσσιες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου. Η αυτοματοποίηση των

διαδικασιών και η διαχρονική εκτίμησης των επιπέδων της χλωροφύλλης-α και της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων συντελεί στην παρακολούθηση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων και την αξιολόγηση της ποιότητας τους. Ταυτόχρονα, αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για τον εντοπισμό του φαινομένου του ευτροφισμού και την χαρτογράφηση της κυκλοφορίας θαλάσσιων ρευμάτων. Επιπλέον, το σύστημα που αναπτύχθηκε συνεισφέρει στη διαχείριση των διαχρονικών δεδομένων και προϊόντων του A-MODIS και στην καταγραφή των μεταβολών της θερμοκρασίας και της χλωροφύλλης σε περιοχές όπου υπάρχει έλλειψη *in-situ* δεδομένων.

## 2. Θεωρητικό υπόβαθρο

### 2.1. Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για την προστασία των υδάτων

Το υδατικό περιβάλλον δέχεται καθημερινά ένα μεγάλο πλήθος πιέσεων είτε από χερσαίες πηγές ρύπανσης, είτε από θαλάσσιες, καθιστώντας αναγκαία την εφαρμογή βιώσιμων πολιτικών ανάπτυξης και διαχείρισης των υδατικών πόρων. Με στόχο να αντιμετωπιστούν, τα πολύπλοκα αυτά προβλήματα, η Ευρωπαϊκή Ένωση καθιέρωσε δύο σημαντικές νομοθετικές πράξεις, για την προστασία και διαχείριση των υδάτων, και συγκεκριμένα τις οδηγίες 2000/60/EK και 2008/56/EK.

#### Οδηγία – Πλαίσιο για τα Νερά (Water Framework Directive –WFD)

Η οδηγία 2000/60/EK υιοθετήθηκε από τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης το 2000 και ορίζει το πλαίσιο κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων. Με το πλαίσιο αυτό, τα κράτη-μέλη δεσμεύονται να πετύχουν καλή περιβαλλοντική κατάσταση όλων των υδατικών σωμάτων (Good Environmental Status – GES) μέσω της ολοκληρωμένης και ορθολογικής διαχείρισης τους. Η Ελλάδα εναρμονίστηκε με την ευρωπαϊκή οδηγία 2000/60/EK, με την ψήφιση του Ν. 3199/2003 και το Π.Δ. 51/2007.

Η Οδηγία αφορά υπόγεια και επιφανειακά ύδατα, δηλαδή ποτάμια, λίμνες, μεταβατικά και παράκτια ύδατα. Ως παράκτια ύδατα ορίζονται, εκείνα τα οποία βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη του ενός ναυτικού μιλίου από το πλησιέστερο σημείο της γραμμής βάσης (η γραμμή από την οποία μετρείται το εύρος των χωρικών υδάτων). Η περιβαλλοντικής τους κατάσταση προσδιορίζεται από την χημική και την οικολογική κατάσταση των υδάτων.

Σύμφωνα με την οδηγία 2000/60/EK, η χημική σύσταση εστιάζει στις συγκεντρώσεις των ρύπων, οι οποίες δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα πρότυπα περιβαλλοντικής ποιότητας. Ως οικολογική κατάσταση ορίζεται «η ποιοτική έκφραση της διάρθρωσης και της λειτουργίας των υδάτινων οικοσυστημάτων» και στα παράκτια ύδατα καθορίζεται από τα παρακάτω:

- Βιολογικά στοιχεία (σύνθεση, αφθονία, βιομάζα φυτοπλαγκτόν και λοιπής χλωρίδας κτλ)
- Υδρομορφολογικά στοιχεία (μορφολογικές συνθήκες, παλιρροιακό καθεστώς)
- Χημικά και φυσικοχημικά στοιχεία (διαύγεια νερού, θερμοτικές συνθήκες, συνθήκες οξυγόνωσης, αλατότητα, συνθήκες θρεπτικών ουσιών κτλ.)

## Οδηγία – Πλαίσιο για τη Θαλάσσια Στρατηγική (Marine Strategy Framework Directive)

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση απαντώνται η Βαλτική Θάλασσα, η Βόρεια Θάλασσα, η Μαύρη Θάλασσα και η Μεσόγειος. Η οδηγία 2008/56/ΕΚ για τη Θαλάσσια Στρατηγική, ψηφίστηκε από το από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο τον Ιούνιο του 2008, με στόχο την αποτελεσματικότερη προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Η οδηγία 2008/56/ΕΚ, ενσωματώθηκε στην εθνική νομοθεσία με το Ν. 3983/2011.

Οι στόχοι της Οδηγίας είναι η διατήρηση και η αποκατάσταση του θαλάσσιου περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέχρι το 2020, καθώς και η προστασία των θαλάσσιων πόρων από τους οποίους εξαρτώνται οικονομικές και κοινωνικές δραστηριότητες. Ο γενικό στόχος, όπως και στην οδηγία 2000/60/ΕΚ, είναι η καλή περιβαλλοντική κατάσταση ο οποίος θα επιτευχθεί με:

- προστατευόμενα οικοσυστήματα
- βιώσιμη εκμετάλλευση των θαλάσσιων πόρων
- συνεργασία για εύρεση κοινών προσεγγίσεων σε ευρωπαϊκή και περιφερειακή κλίμακα.

Στην Οδηγία, αναφέρονται οι Ευρωπαϊκές θαλάσσιες περιοχές και υπό-περιοχές βασισμένες σε γεωγραφικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Συγκεκριμένα, απαριθμούνται τέσσερις περιοχές: (α) η Βαλτική Θάλασσα, (β) ο Βορειοανατολικός Ατλαντικός Ωκεανός, (γ) η Μεσόγειος Θάλασσα και (δ) η Μαύρη Θάλασσα. Ώστε να επιτευχθεί η καλή περιβαλλοντική κατάσταση των θαλασσών, κάθε κράτος οφείλει να αναπτύξει μία θαλάσσια στρατηγική. Στην Ελλάδα η στρατηγική αυτή ορίζεται από το Ν. 3983/2011 και περιλαμβάνει τα παρακάτω:

- Εκτίμηση/καταγραφή της υπάρχουσας περιβαλλοντικής κατάστασης της θάλασσας.
- Καθορισμός της σημασίας «καλή περιβαλλοντική κατάσταση» για τα εθνικά θαλάσσια ύδατα.
- Ορισμός περιβαλλοντικών στόχων και σύνδεση τους με κατάλληλους δείκτες ώστε να επιτευχθεί καλή περιβαλλοντική κατάσταση το 2020.
- Καθιέρωση προγράμματος παρακολούθησης της κατάστασης του θαλάσσιου περιβάλλοντος.
- Σχεδιασμός προγράμματος για την επίτευξη και διατήρηση της καλής περιβαλλοντικής κατάστασης.
- Επανεξέταση και προετοιμασία του επόμενου κύκλου.

Η οδηγία καθορίζει έντεκα (11) χαρακτηριστικά ποιοτικής περιγραφής που δείχνουν ότι έχει επιτευχθεί καλή περιβαλλοντική κατάσταση τα οποία αναφέρονται στη συνέχεια.

- Η βιοποικιλότητα διατηρείται

- Τα μη ιθαγενή είδη δεν επηρεάζουν δυσμενώς το οικοσύστημα.
- Οι πληθυσμοί των εμπορικών ειδών ψαριών να είναι υγιείς.
- Τα στοιχεία των τροφικών δικτύων διασφαλίζουν την αφθονία και αναπαραγωγή των ειδών.
- Ο ευτροφισμός ελαχιστοποιείται.
- Ο θαλάσσιος βυθός διατηρείται και υποστηρίζει τη λειτουργία των οικοσυστημάτων.
- Η μόνιμη αλλαγή των υδρογραφικών χαρακτηριστικών(θερμοκρασία, αλατότητα κλπ) δεν επηρεάζει δυσμενώς το οικοσύστημα.
- Οι συγκεντρώσεις των ρύπων είναι σε τέτοια επίπεδα που δεν έχουν επιπτώσεις.
- Οι ρυπογόνες ουσίες στα ψάρια και τα θαλασσινά βρίσκονται ασφαλή επίπεδα.
- Τα απορρίμματα δεν προκαλούν βλάβες.
- Η εισαγωγή ενέργειας(π.χ. θερμότητας) δεν επηρεάζει δυσμενώς το οικοσύστημα.

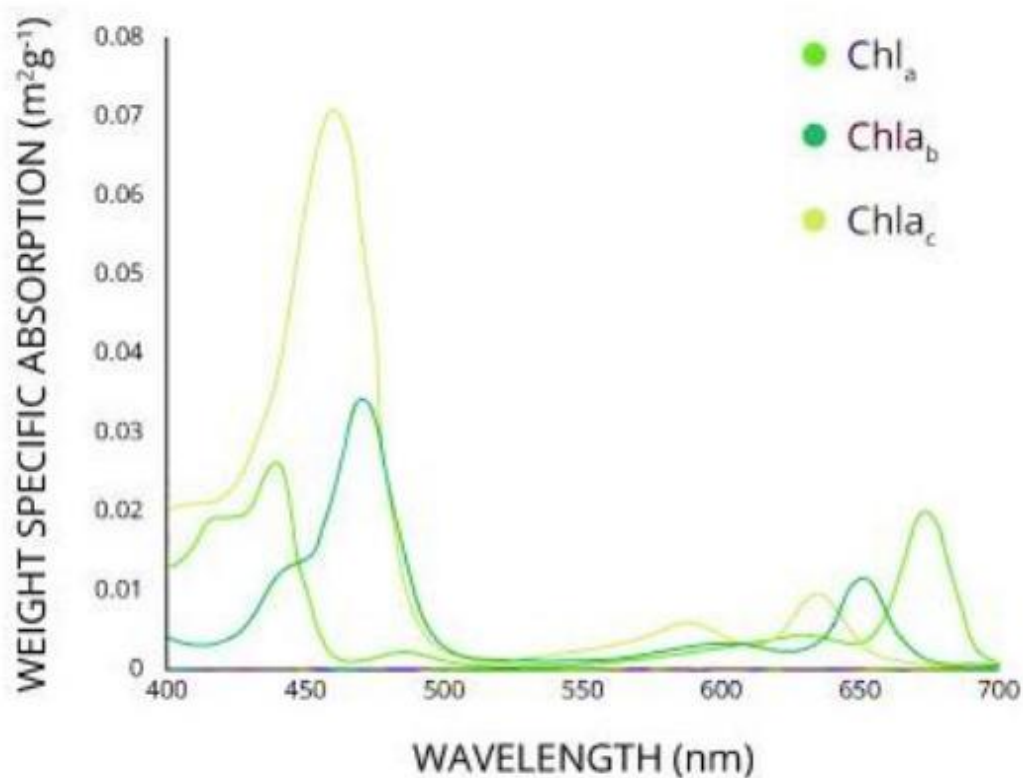
## **2.2. Δείκτες ποιότητας νερού**

Οι παράμετροι της ποιότητας του νερού, χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την κατάσταση του νερού, δηλαδή τα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του. Ο έλεγχος της ποιότητας του νερού αποτελεί σημαντικό στοιχείο της παρακολούθησης του περιβάλλοντος. Στις ενότητες που ακολουθούν, περιγράφονται οι βασικές παράμετροι της ποιότητας του νερού.

### **2.2.1. Χλωροφύλλη-α (chlorophyll-a ή chl-a)**

Η χλωροφύλλη βρίσκεται στα φυτά, στην άλγη και το φυτοπλαγκτόν. Το πράσινο χρώμα των φυτών οφείλεται σε αυτή, αφού ανακλά το πράσινο χρώμα ενώ απορροφά όλα τα άλλα. Υπάρχουν έξι (6) διαφορετικές μορφές χλωροφύλλης(A, B, C, D, E, και F). Η κάθε μία από αυτές ανακλά ελαφρώς διαφορετικά τα πράσινα μήκη κύματος (Εικόνα 2). Η χλωροφύλλη-α αποτελεί τον τύπο χλωροφύλλης που είναι υπεύθυνος για τη φωτοσύνθεση και είναι ένας από τους σημαντικότερους ποιοτικούς δείκτες.

Η χλωροφύλλη-α συμβάλλει στην εκτίμηση της βιομάζας του φυτοπλαγκτού σε μία θαλάσσια περιοχή, αφού σχετίζεται γραμμικά με εκείνη. Ταυτόχρονα, η αύξηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α αποτελεί την πρώτη επίδραση του ευτροφισμού των υδάτων [16].



Εικόνα 2: Φασματική υπογραφή των μορφών χλωροφύλλης A, B και C (Πηγή: <http://www.fondriest.com>)

Ο αύξηση του φυτοπλαγκτού και κατ' επέκταση, λοιπόν, το φαινόμενο του ευτροφισμού έχει άμεσες συνέπειες στα υδάτινα οικοσυστήματα. Αρχικά, μεταβάλλεται η σύνθεση των θαλάσσιων ειδών και ο τρόπος λειτουργίας της τροφικής αλυσίδας. Παρατηρείται, ακόμα, έντονη ιζηματογένεση της οργανικής ύλης και αύξηση της κατανάλωσης οξυγόνου που μπορεί οδηγήσει και ακόμα και στο θάνατο υδρόβιων ειδών. Σημαντική επίπτωση αποτελεί και η πιθανή προώθηση επιβλαβών φυκιών, που μπορούν να προκαλέσουν δηλητηρίαση στα ψάρια, τα όστρακα και επομένως τον άνθρωπο [32].

Ανάλογα με τα επίπεδα της χλωροφύλλης-α τα οικοσυστήματα μπορούν να χαρακτηριστούν ολιγοτροφικά, μεσοτροφικά και ευτροφικά [7]. Για τον ελλαδικό θαλάσσιο χώρο τα επίπεδα ευτροφισμού που έχουν προσδιοριστεί για τις συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης-α φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Επίπεδα Ευτροφισμού	Χλωροφύλλη-α mg/m <sup>3</sup>
<b>Ολιγοτροφικό</b>	<0.1
<b>Χαμηλό Μεσοτροφικό</b>	0.1 – 0.6



<b>Υψηλό Μεσοτροφικό</b>	0.6 – 2.0
<b>Ευτροφικό</b>	>2.20

Πίνακας 1: Επίπεδα ευτροφισμού στα θαλάσσια οικοσυστήματα της Ελλάδας (Πηγή: Gotsis-Skretas et al. 2005)

Η χλωροφύλλη-α χαρακτηρίζεται από έντονες διακυμάνσεις και έτσι η τάση της πρέπει να αξιολογείται σε ευρύτερο πλαίσιο. Η ευαισθησία του ευτροφισμού στις θαλάσσιες περιοχές της Ευρώπης εξαρτάται από τα φυσικά χαρακτηριστικά της περιοχής και για το λόγο αυτό τα επιτρεπόμενα όρια διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή. Οι οριακές, αυτές, τιμές ορίζονται αναλυτικά στην Ευρωπαϊκή Απόφαση 2008/915/EK [31].

### 2.2.2. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί το μέτρο της μέσης τιμής της κινητικής ενέργειας των μορίων του νερού και, συνεπώς, συμμετέχει σε όλες τις βιομηχανικές και φυσικοχημικές αντιδράσεις[33]. Η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγεται την αύξηση της ταχύτητας διεξαγωγής των χημικών αντιδράσεων αλλά και του πολλαπλασιασμού των μικροοργανισμών [24].

Η επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας (Sea Surface Temperature – SST) είναι η θερμοκρασία του κορυφαίου χιλιοστού της επιφάνειας της θάλασσας. Αντίστοιχα με την θερμοκρασία της επιφάνειας της γης, οι θερμοκρασίες της θάλασσας είναι θερμότερη κοντά στον ισημερινό και ψυχρότερη κοντά στους πόλους [58].

Η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας συμβάλλει σημαντικά στην κατανόηση της επίδρασης των ωκεανών με την ατμόσφαιρα της Γης. Η μετρήσεις της θερμοκρασίας της θάλασσας παρέχει πληροφορίες για το παγκόσμιο κλιματικό σύστημα και αποτελεί καθοριστική παράμετρο για την προσομοίωση των ατμοσφαιρικών μοντέλων. Ταυτόχρονα, βοηθά στην μελέτη των θαλάσσιων οικοσυστημάτων αλλά και την παρακολούθηση του κλίματος και των εποχών [59].

### 2.2.3. Διαλυμένο οξυγόνο (Dissolved Oxygen, DO)

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό αποτελεί αναμφισβήτητο δείκτη της κατάστασης και της βιωσιμότητας του οικοσυστήματος, αφού είναι απαραίτητο για την αναπνοή και την οξείδωση οργανικών ουσιών. Το νερό οξυγονώνεται κυρίως από την ατμόσφαιρα, μέσω του φαινομένου της διάχυσης, και δευτερευόντως χάρη στη φωτοσύνθεση των υδρόβιων φυτικών οργανισμών. Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η θερμοκρασία, η αλατότητα, η ταχύτητα ροής του νερού κλπ [58].

Οι χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου έχουν αρνητικές συνέπειες στους παγκόσμιους βιογεωχημικούς κύκλους, τους θαλάσσιους οικοτόπους και τους οργανισμούς. Συγκεκριμένα, περιοχές με συγκεντρώσεις μικρότερες από 2 mg/L είναι υποξικές και θεωρούνται και θεωρούνται ανοξικές όταν οι συγκεντρώσεις φτάσουν τα 0 mg/L. Οι ανοξικές περιοχές αναφέρονται ως «νεκρές ζώνες», επειδή η συγκέντρωση του οξυγόνου δεν μπορεί να συντηρήσει τη ζωή. Το φαινόμενο αυτό, παρατηρείται κυρίως σε παράκτια ύδατα λόγω του μικρού βάθους, της μεγάλης βιολογικής δραστηριότητας αλλά και της επαφής με τη στεριά [5].

#### **2.2.4. Ενεργός οξύτητα (pH)**

Το pH είναι το μέτρο της οξύτητας ή της αλκαλικότητας μιας ουσίας και είναι μία από τις σταθερές μετρήσεις στο θαλασσινό νερό. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την οξύτητα είναι η θερμοκρασία, η αλατότητα, οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), του οξυγόνου ( $\text{O}_2$ ), οι μεταβολικές δραστηριότητες των υδρόβιων οργανισμών και η αποσύνθεση των οργανικών ουσιών [34].

Η μέτρηση του pH είναι μία από τις σημαντικότερες μετρήσεις κατά την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού. Η ενεργός οξύτητα επηρεάζει πολλές βιολογικές και χημικές αντιδράσεις και χρησιμεύει σαν δείκτης ρύπανσης [34].

#### **2.2.5. Θρεπτικά Συστατικά**

Τα θρεπτικά συστατικά αποτελούν κυρίως, ανόργανες αλλά και οργανικές ενώσεις, με τις οποίες τρέφονται οι φυτικοί οργανισμοί και το φυτοπλαγκτόν. Στα θρεπτικά στοιχεία του φυτοπλαγκτού ανήκουν αρκετές ενώσεις του άζωτου, όπως τα νιτρικά, τα νιτρώδη και τα αμμωνιακά ιόντα [34].

Ο φώσφορος, όπως και το άζωτο, είναι βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των φυκιών. Η περιεκτικότητα των επιφανειακών νερών σε φώσφορο αποτελεί καθοριστικό παράγοντα του ευτροφισμού. Τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό επηρεάζουν η θερμοκρασία, το pH και η συγκέντρωση νιτρώδων και νιτρικών ιόντων [34].

### **2.4. Μέθοδοι Παρατήρησης της Γης και Τηλεπισκόπηση**

Η τηλεπισκόπηση (remote sensing) αποτελεί μία τεχνική με την οποία είναι εφικτή η απόκτηση πληροφοριών για αντικείμενα που βρίσκονται στην επιφάνεια της Γης. Σύμφωνα με τον Δ. Π. Αργιαλά (1999), «Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη και η τέχνη της απόκτησης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, μια περιοχή ή ένα φαινόμενο δια μέσου της ανάλυσης δεδομένων, τα οποία έχουν αποκτηθεί από μία συσκευή, η οποία δεν είναι σε επαφή με το υπό έρευνα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο».

Η τηλεπισκόπηση βασίζεται στην ικανότητα των αντικειμένων να ανακλούν και να εκπέμπουν ενέργεια με τη μορφή ακτινοβολίας, στα διάφορα μήκη κύματος, ανάλογα με τα φυσικά χαρακτηριστικά και τη σύσταση τους. Η ποσότητα και η φασματική κατανομή της ακτινοβολίας ενός αντικειμένου (φασματική ταυτότητα), χρησιμεύει ως μέσο αναγνώρισης του και καταγράφεται από τους δορυφορικούς δέκτες (sensors) που βρίσκονται σε τροχιά παρατήρησης. Η μελέτη της συμπεριφοράς των διαφόρων αντικειμένων στην ανάκλαση και την εκπομπή της ακτινοβολίας συμβάλλει στην επιλογή κατάλληλων δεικτών και φασματικών ζωνών προκειμένου να διευκολυνθεί ο εντοπισμός των υπό μελέτη αντικειμένων και των χαρακτηριστικών του [36].

Τα συστήματα τηλεπισκόπησης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα παθητικά συστήματα και τα ενεργητικά. Οι παθητικοί δέκτες καταγράφουν την ενέργεια που ανακλάται από την επιφάνεια της Γης, η οποία έχει προέλθει από κάποια φυσική πηγή, συνήθως τον Ήλιο. Αντίθετα, οι ενεργητικοί δέκτες καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που έχουν εκπέμψει οι ίδιοι.

Η Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση βρίσκει εφαρμογή σε πολλά ερευνητικά πεδία όπως η γεωλογία, η αρχαιολογία, το περιβάλλον και η ωκεανογραφία. Μερικά παραδείγματα εφαρμογών για την παρακολούθηση και αξιολόγηση του φυσικού περιβάλλοντος, είναι οι μετρήσεις της θερμοκρασίας των υδάτων και άλλων ποιοτικών χαρακτηριστικών και η χαρτογράφηση και εντοπισμός φυσικών καταστροφών.

#### **2.4.1. Ο Δέκτης MODIS**

Ο **Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)** είναι ένα βασικό εργαλείο πάνω στους δορυφόρους Terra (EOS AM-1) και Aqua (EOS PM-1). Ο πρώτος αισθητήρας MODIS που τέθηκε σε τροχιά ήταν με την εκτόξευση του διαστημοπλοίου Terra, το Δεκέμβριο του 2000. Με την επιτυχή εκτόξευση του διαστημοπλοίου AQUA το Μάιο του 2002, τέθηκε σε τροχιά και ο δεύτερος αισθητήρας, που παρατηρεί τον κύκλο των νερών της γης και την ατμόσφαιρα. Η τροχιά του Terra γύρω από την Γη είναι χρονομετρημένη, ώστε να περνά από τον βορρά στον νότο διαμέσου του ισημερινού το πρωί, ενώ ο Aqua να περνά νότια προς βόρεια πάνω από τον ισημερινό το απόγευμα. Οι Terra MODIS και Aqua MODIS καταγράφουν ολόκληρη την επιφάνεια της Γης κάθε 1 με 2 ημέρες, αποκτώντας δεδομένα σε 36 φασματικά κανάλια. Αυτά τα δεδομένα, βελτιώνουν την κατανόηση της παγκόσμιας δυναμικής και των παγκόσμιων διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στην ξηρά, στη θάλασσα και στο χαμηλότερο επίπεδο της ατμόσφαιρας. Ο MODIS παίζει έναν ρόλο ζωτικής σημασίας στην ανάπτυξη έγκυρων, παγκόσμιων και διαδραστικών με την Γη μοντέλων, ικανών για την πρόβλεψη παγκόσμιων αλλαγών με τέτοια ακρίβεια, ώστε οι πολιτικοί φορείς να λάβουν σημαντικές αποφάσεις για την προστασία του περιβάλλοντος [39].

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) παρουσιάζονται τα κανάλια του MODIS, τα μήκη κύματος που τους αντιστοιχούν, καθώς και η περιοχή εφαρμογής τους. Σημειώνεται, ότι τα κανάλια 8 έως 16, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που αφορούν το νερό των ωκεανών.

Χρήση			Band	Bandwidth(nm)
<b>Land/ Boundaries</b>	<b>Cloud/ Boundaries</b>	<b>Aerosols</b>	1	620 - 670
			2	841 – 876
<b>Land/ Properties</b>	<b>Cloud/ Properties</b>	<b>Aerosols</b>	3	459 – 479
			4	545 – 565
			5	1230 – 1250
			6	1628 – 1652
			7	2105 – 2155
<b>Ocean Biogeochemistry</b>	<b>Color/ Biogeochemistry</b>	<b>Phytoplakton/ Biogeochemistry</b>	8	405 – 420
			9	438 - 448
			10	483 - 493
			11	526 – 536
			12	546 – 556
			13	662 – 672
			14	673 – 683
			15	743 – 753
			16	862 – 877
<b>Atmospheric Water Vapor</b>			17	890 – 920
			18	931 – 941
			19	915 – 965
<b>Surface/ Cloud Temperature</b>			20	3660 – 3840
			21	3929 – 3989
			22	3929 – 3989
			23	4020 – 4080

<b>Atmospheric Temperature</b>	24	4433 – 4498
	25	4482 – 4549
<b>Cirrus Clouds Water Vapor</b>	26	1360 – 1390
	27	6535 – 6895
	28	7175 – 7475
<b>Cloud Properties</b>	29	8400 – 8700
<b>Ozone</b>	30	9580 – 9880
<b>Surface/ Cloud Temperature</b>	31	10780 – 11280
	32	11770 – 12270
<b>Cloud Top Altitude</b>	33	13185 – 13485
	34	13485 – 13785
	35	13785 – 14085
	36	14085 – 14385

Πίνακας 2: Τα κανάλια του δέκτη MODIS (Πηγή: <https://modis.gsfc.nasa.gov/>)

### **Ο δορυφόρος Terra (EOS/AM-1)**

Ο δορυφόρος Terra είναι μία αποστολή παρατήρησης της Γης στο πρόγραμμα ESE (Earth Science Enterprise) της NASA, μεταξύ των Ηνωμένων Πολιτειών, της Ιαπωνίας και του Καναδά. Οι Ηνωμένες Πολιτείες παρείχαν το διαστημικό σκάφος, την εκτόξευση και τα τρία όργανα CERES, MISR και MODIS που ανέπτυξε η NASA. Η Ιαπωνία παρείχε τον ASTER και ο Καναδάς το MOPITT. Τα πέντε αυτά όργανα (Πίνακας 3) παρατηρούν την ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς, τη γη, το χιόνι και τον πάγο, καθώς και τα αποθέματα ενέργειας. Συνολικά, οι παρατηρήσεις αυτές, παρέχουν μοναδική εικόνα για το πώς λειτουργεί και μεταβάλλεται το σύστημα της Γης. Οι παρατηρήσεις του Terra αποκαλύπτουν το αντίκτυπο των παρεμβάσεων του ανθρώπου στον πλανήτη και παρέχουν σημαντικά στοιχεία για φυσικούς κινδύνους, όπως η φωτιά και τα ηφαίστεια [54].

Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	CERES	Clouds and Earth's Radiant Energy System
	MISR	Multi-angle Imaging Spectroradiometer
	MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

Ιαπωνία	ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
Καναδάς	MOPITT	Measurements of Pollution in the Troposphere

Πίνακας 3: Τα όργανα του Terra (Πηγή: <https://terra.nasa.gov>)

### Ο δορυφόρος Aqua (EOS/PM-1)



Εικόνα 3: Απεικόνιση του δορυφόρου Aqua (Πηγή: <https://aqua.nasa.gov>)

Η αποστολή του δορυφόρου Aqua αποτελεί μέρος του Διεθνούς Συστήματος Παρακολούθησης της Γης (NASA's international Earth Observing System EOS). Ο Aqua εκτοξεύτηκε από στις 4 Μαΐου 2002 και κινείται σε τροχιά συγχρονισμένη με τον ήλιο. Έχει έξι όργανα που παρατηρούν Γη και παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τον κύκλο του νερού αλλά και την αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα, όπως η εξάτμιση των ωκεανών, οι βροχοπτώσεις, η θερμοκρασία του αέρα, του νερού και της ξηράς αλλά και το φυτοπλαγκτόν. Παρ'όλο που σχεδιάστηκε για να λειτουργήσει 6 χρόνια, έχει ξεπεράσει τον αρχικό στόχο και προσφέρει δεδομένα υψηλής ποιότητας από 4 (AIRS, AMSU-A, CERES, MODIS) από τα 6 όργανα του, και δεδομένα χαμηλότερης ποιότητας από το πέμπτο όργανο του (AMSR-E). Το έκτο (HSB), συγκέντρωσε υψηλής ποιότητας δεδομένα περίπου 9 μηνών αλλά σταμάτησε να λειτουργεί το Φεβρουάριο του 2003 [55].

AIRS	Atmospheric Infrared Sounder
AMSU-A	Advanced Microwave Sounding Unit
CERES	Clouds and the Earth's Radiant Energy System
MODIS	Moderate-Resolution Imaging Spectrodiometer
AMSR-E	Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS
HSB	Humidity Sounder for Brazil

Πίνακας 4: Τα όργανα του Aqua (Πηγή: <https://aqua.nasa.gov>)

#### 2.4.2. Τα προϊόντα του MODIS για τους ωκεανούς

Τα προϊόντα που παράγονται από τις παρατηρήσεις των αισθητήρων MODIS στους δορυφόρους Terra και Aqua, καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα μεταβλητών σχετικά με την ξηρά, τον ωκεανό και την ατμόσφαιρα, που είναι απαραίτητες, ώστε να μελετώνται οι διαδικασίες και οι τάσεις του δυναμικού συστήματος της Γης [13].

Συγκεκριμένα, τα προϊόντα που αφορούν τα χαρακτηριστικά των ωκεανών (Πίνακας 5), συλλέγονται, από την ομάδα Ocean Biology Processing Group (OBPG). Η ομάδα αυτή είναι υπεύθυνη για την επεξεργασία, αρχειοθέτηση, και διανομή των προϊόντων αυτών. Αυτά τα δεδομένα, οργανώνονται με διάφορους τρόπους και έχει δημιουργηθεί μία ορολογία που περιγράφει τις διαφορετικές οργανωτικές συμβάσεις[55].

MODIS Ocean Products		
Sea Surface Temperature	Diffuse Attenuation at 490 nm	Normalized Fluorescence Line Height (FLH)
Remote Sensing Reflectance	Particulate Organic Carbon	Instantaneous Photosynthetically Available Radiation
Chlorophyll-a Concentration	Particulate Inorganic Carbon	Daily Mean Photosynthetically Available Radiation

Πίνακας 5: Τα προϊόντα του MODIS (Πηγή: <https://aqua.nasa.gov>)

#### Επίπεδα προϊόντων

**1)Επίπεδο 0 (Level 0):** Τα προϊόντα επιπέδου 0n είναι τα δεδομένα στην πρωταρχική του μορφή, μη επεξεργασμένα, όπως «κατεβαίνουν» από το δορυφόρο και είναι διαθέσιμα για μερικές μόνο αποστολές.

**2)Επίπεδο 1 (Level 1):** Τα δεδομένα επιπέδου 1 διακρίνονται σε δεδομένα 1Α και 1Β. Τα προϊόντα επιπέδου 1Α περιέχουν τις πρωτογενείς μετρημένες ακτινοβολίες από όλα τα κανάλια, πληροφορίες για την τηλεμετρία του αεροσκάφους και των οργάνων εισάγονται για γεωαναφορά, βαθμονόμηση και επεξεργασία. Τα προϊόντα επιπέδου 1Β, προκύπτουν από τα 1Α, μετά τη βαθμονόμηση του αισθητήρα

**3)Επίπεδο 2 (Level 2):** Κάθε προϊόν επιπέδου 2, δημιουργείται από το αντίστοιχο επίπεδο 1 και καλύπτουν ακριβώς την ίδια γεωγραφική περιοχή. Τα δεδομένα αυτά περιέχουν τις γεωφυσικές τιμές κάθε εικονοστοιχείου, που έχουν προκύψει μετά τη βαθμονόμηση, την ατμοσφαιρική διόρθωση και την εφαρμογή των αντίστοιχων αλγορίθμων.

**4) Επίπεδο 3 (Level 3):** Τα δεδομένα αυτά, προκύπτουν από τα προϊόντα επιπέδου 2, απλά οι μεταβλητές ανάγονται σε μία καθορισμένη χρονική περίοδο (8 ημέρες, 1 μήνας κλπ) [51].

#### 2.4.3. A-MODIS Επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας

Τα δεδομένα της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας (Sea Surface Temperature), αποτελούν δεδομένα είτε επιπέδου 2 είτε 3, και παρέχουν μετρήσεις της θερμοκρασίας, αξιοποιώντας δύο διαφορετικούς αλγορίθμους, έναν μικρού κύματος (Short-wave SST Algorithm) και έναν μεγάλου (Long-wave SST Algorithm). Ο πρώτος χρησιμοποιεί τα κανάλια 22-23 και δεύτερος τα κανάλια 31-32 και παράγουν τα αντίστοιχα δεδομένα, SST4 και SST αντίστοιχα, σε βαθμούς Κελσίου (°C).

Η ακρίβεια του Aqua MODIS για την επιφανειακή θερμοκρασία του νερού ανέρχεται σε  $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ , ενώ το εύρος που μπορεί να μετρήσει κυμαίνεται μεταξύ  $-2$  μέχρι  $32^{\circ}\text{C}$  [1]. Επιπλέον, οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται από το δορυφόρο αφορούν μόνο στο επιφανειακό στρώμα νερού, του οποίου το βάθος δεν ξεπερνά το 1 mm [4].

Στα προϊόντα SST εφαρμόζονται και τεστ αξιολόγησης τα οποία δίνουν τα επίπεδα ποιότητας (Πίνακας 6) κάθε pixel, τα οποία συμπεριλαμβάνονται στο τελικό αρχείο.

Επίπεδο ποιότητας	Περιγραφή
0	Best – Scan angles < 55°
1	Good/Acceptable
2	Suspect
3	Bad – Cloud/Ice/or Atmospheric correction failed
4	Not processed or land

Πίνακας 6: Επίπεδα ποιότητας SST (Πηγή: <https://power.larc.nasa.gov/>)



#### 2.4.4. A-MODIS Χλωροφύλλη-α

Το προϊόν της χλωροφύλλης-α (Chl-a) βρίσκεται στα προϊόντα επιπέδου 2 (Level-2 OC) αλλά και στα επιπέδου 3 (Level-3 CHL). Ο αλγόριθμος OC που εφαρμόζεται για να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης, χρησιμοποιεί εμπειρικές σχέσεις, που έχουν προκύψει από *in situ* μετρήσεις, και τις ανακλάσεις στην μπλε-πράσινη περιοχή του οπτικού φάσματος [51]. Συγκεκριμένα, για τιμές χλωροφύλλης-α μικρότερες από  $0.15 \text{ mg m}^{-3}$  χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος CI (Color Index), για μεγαλύτερες από  $0.2 \text{ mg m}^{-3}$  ο OCx (OC3/OC4), ενώ στις ενδιάμεσες τιμές χρησιμοποιείται συνδυασμός των δύο αλγορίθμων [8].

Όπως και στα προϊόντα της θερμοκρασίας, έτσι και στην χλωροφύλλη, εφαρμόζονται τα αντίστοιχα τεστ αξιολόγησης, και συμπεριλαμβάνονται στο τελικό προϊόν οι αντίστοιχες επισημάνσεις για την ποιότητα του κάθε pixel. Για την ακρίβεια, το κάθε pixel επισημαίνεται με ένα 4-byte ακέραιο αριθμό που δείχνει 32 πιθανές παραμέτρους ή quality flags (Πίνακας 7) της ποιότητας. Αν η τιμή του bit είναι επισημασμένη τότε η συγκεκριμένη παράμετρος ισχύει. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι διαφορετικές παράμετροι που εξετάζονται στα τεστ αλλά και αν αποκλείονται από τα τελικά προϊόντα επιπέδων 2 και 3 [51].

Bit	Name	Short Description	L2 Mask Default	L3 Mask Default
1	ATMFAIL	Atmospheric correction failure		ON
2	LAND	Pixel is over land	ON	ON
3	PRODWARN	One or more product algorithms generated a warning		
4	HIGLINT	Sunglint: reflectance exceeds threshold		ON
5	HILT	Observed radiance very high or saturated	ON	ON
6	HISATZEN	Sensor view zenith angle exceeds threshold		ON
7	COASTZ	Pixel is in shallow water		
8	Unused			
9	STRAYLIGHT	Probable stray light contamination	ON	ON
10	CLDICE	Probable cloud or ice contamination	ON	ON
11	COCCOLITH	Coccolithophores detected		ON
12	TURBIDW	Turbid water detected		

13	HISOLZEN	Solar zenith exceeds threshold	ON
14	Unused		
15	LOWLW	Very low water-leaving radiance	ON
16	CHLFAIL	Chlorophyll algorithm failure	ON
17	NAVWARN	Navigation quality is suspect	ON
18	ABSAER	Absorbing Aerosols determined	ON
19	Unused		
20	MAXAERITER	Maximum iterations reached for NIR iteration	ON
21	MODGLINT	Moderate sun glint contamination	
22	CHLWARN	Chlorophyll out-of-bounds	
23	ATMWARN	Atmospheric correction is suspect	ON
24	Unused		
25	SEAICE	Probable sea ice contamination	
26	NAVFAIL	Navigation failure	ON
27	FILTER	Pixel rejected by user-defined filter OR Insufficient data for smoothing filter	
28	Unused		
29	BOWTIEDEL	Deleted off-nadir, overlapping pixels (VIIRS only)	
30	HIPOL	High degree of polarization determined	
31	PRODFAIL	Failure in any product	
32	Unused		

Πίνακας 7: Ποιοτικοί δείκτες Chl-a (Πηγή: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>)

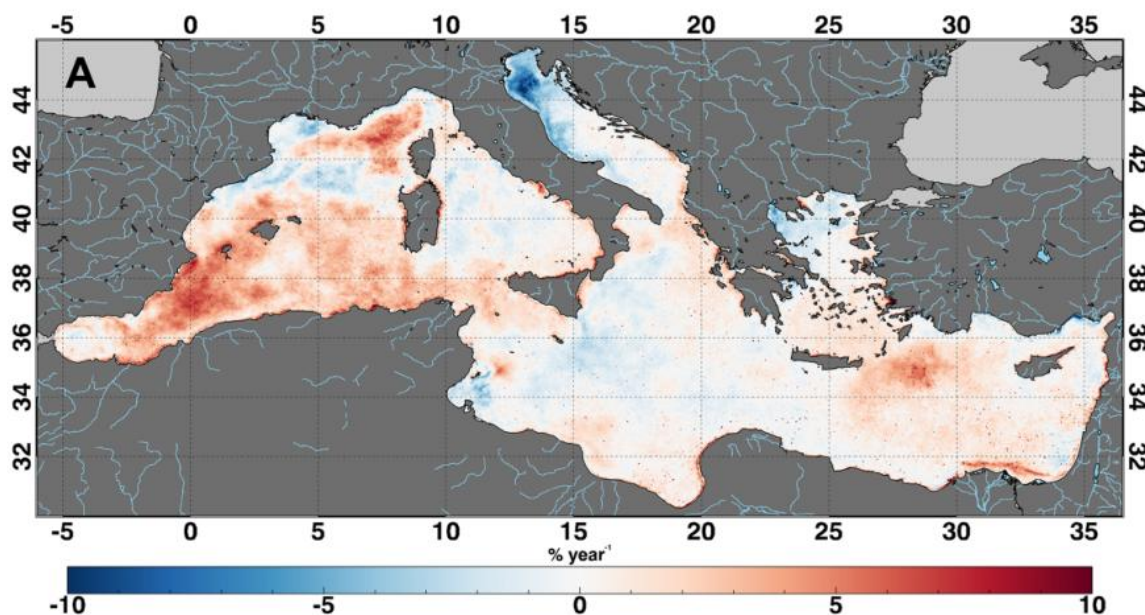
### 3. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η Δορυφορική Τηλεπισκόπηση, έχει χρησιμοποιηθεί διεθνώς σε πολλές εφαρμογές με στόχο την εκτίμηση της ποιότητας του νερού. Οι περισσότερες ερευνητικές εργασίες ασχολούνται με την χλωροφύλλη-α ως δείκτη ευτροφισμού, ενώ αρκετοί έχουν ασχοληθεί με την εκτίμηση της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας, την αλατότητα, τα θρεπτικά συστατικά κλπ. Οι εφαρμογές αυτές ασχολούνται με τις διαφορετικές κατηγορίες υδάτων, είτε είναι ποτάμια και λίμνες είτε θάλασσες και ωκεανοί. Η πολυπλοκότητα του νερού και τα διαφορετικά χαρακτηριστικά που έχει κάθε κατηγορία υδάτων έχει ως αποτέλεσμα να διαφοροποιούνται τα οπτικά χαρακτηριστικά. Για το λόγο αυτό, δεν έχει δημιουργηθεί κάποια καθολική διαδικασία που να καθορίζει συγκεκριμένο τρόπο διαχείρισης και ανάλυσης του νερού και κάθε ερευνητική εργασία αναπτύσσει διαφορετική προσέγγιση. Στο κεφάλαιο αυτό, θα παρουσιαστούν, μερικές μόνο, από τις σχετικές έρευνες που έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια.

#### 3.1. Σχετικές ερευνητικές εργασίες

Οι Raitsos et. al. το 2013, ασχολήθηκαν με τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης στην Ερυθρά Θάλασσα. Συγκεκριμένα, χρησιμοποίησαν υψηλής ανάλυσης δεδομένα χλωροφύλλης-α (Chl-a), θερμοκρασίας επιφανειακών υδάτων (SST), για την περίοδο 2003 έως 2011 από τον αισθητήρα MODIS του δορυφόρου Aqua. Τα δεδομένα αυτά, αποτύπωσαν μία λεπτομερή περιγραφή της χωροχρονικής διακύμανσης της βιομάζας του φυτοπλαγκτού στην περιοχή μελέτης. Έτσι, προτάθηκαν τέσσερις διακριτές περιοχές και εποχές της Ερυθράς (Εικόνα 4). Οι δύο περιοχές (NRS, NCRS) στο βόρειο τμήμα της θάλασσας είναι περισσότερο ολιγοτροφικές από τις δύο νότιες (SCRS, SRS), ενώ η νοτιότερη περιοχή (SRS) εμφανίζει τη μεγαλύτερη παραγωγικότητα. Τέλος, παρόλο που η Ερυθρά Θάλασσα ανήκει στα ολιγοτροφικά θαλάσσια οικοσυστήματα, η σποραδική άνθηση του φυτοπλαγκτού συχνά αγγίζει τα μεσοτροφικά επίπεδα [47].

Πρέπει να αναφερθεί ακόμα, η έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Goela et. al, το 2016, σχετικά με την ανάλυση χρονοσειρών επιφανειακής θερμοκρασίας (SST) και της ανάβλυσσης του νερού (upwelling), στη ΝΔ Πορτογαλία. Τα ημερήσια δεδομένα SST, αποτελούν προϊόντα του US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), τα δεδομένα για την ταχύτητα και την κατεύθυνση των ανέμων προέρχονται από το US National Climatic Data Center, ενώ συνολικά εξετάζεται το χρονικό διάστημα 1988-2013 [44].



Εικόνα 4: Η τάση της χλωροφύλλης στη Μεσόγειο (Πηγή: Colella et. al 2016)

Με βάση τα παραπάνω, προσδιορίστηκαν 4 διακριτές ωκεανογραφικές περιόδους, οι οποίες και εντοπίστηκαν από το 2008 έως το 20012. Σύμφωνα με την έρευνα, την πρώτη εποχή αποτελεί το καλοκαίρι, με έντονο το φαινόμενο της ανάβλυσης, και ακολουθεί το φθινόπωρο, κατά το οποίο η ανάβλυση είναι σε χαμηλότερα επίπεδα. Τέλος, το φαινόμενο της ανάβλυσης στην περιοχή, κατά την άνοιξη και το χειμώνα, ποικίλει σε ένταση από έτος σε έτος [44].

Το 2016, επίσης, οι Colella et. al, ασχολήθηκαν με την τάση της χλωροφύλλης στη Μεσόγειο Θάλασσα, από δορυφορικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, εφάρμοσαν στη μηνιαία χρονοσειρά της χλωροφύλλης το τεστ MannKendal και τη μέθοδο Sens, για την εκτίμηση της τάσης. Έτσι προσδιορίζεται, η τάση της χλωροφύλλης για ολόκληρη τη λεκάνη της Μεσογείου, στην οποία αναγνωρίζονται έντονα φαινόμενα, ιδιαίτερα στις παράκτιες περιοχές [43].

Οι Mikaeylan et. al (2017) ασχολήθηκαν με την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού στη Μαύρη Θάλασσα χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα CHL του δορυφόρου Aqua Modis, για μία περίοδο 20 ετών. Μετά από ταυτόχρονη ανάλυση των εικόνων αλλά των μεταβολών στην θερμοκρασία της θάλασσας και τα θρεπτικά συστατικά κλπ. οι υψηλότερες τιμές χλωροφύλλης εντοπίστηκαν στο πρώτο μισό του Νοεμβρίου. Εξετάστηκαν, ακόμα, οι σχέσεις μεταξύ της εποχικής άνθησης του φυτοπλαγκτού, των ανέμων και τον νιτρικών αλάτων [45].

Ενδιαφέροντα αποτελέσματα απέδωσε και η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία της Τσαμούρα Ε. (2017), η οποία αξιοποιώντας μοντέλα παλινδρόμησης και εμπειρικούς αλγόριθμους, σύγκρινε τα δορυφορικά δεδομένα χλωροφύλλης-α και θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας των

MODIS και Sentinel-3 με επίγειες μετρήσεις, στην Νοτιοανατολική Μεσόγειο, για την περίοδο 2013-2016. Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων των δορυφορικών με τα *in situ*, ήταν ενθαρρυντικά για τον δορυφόρο MODIS σε σχέση με τον Sentinel-3 [37].

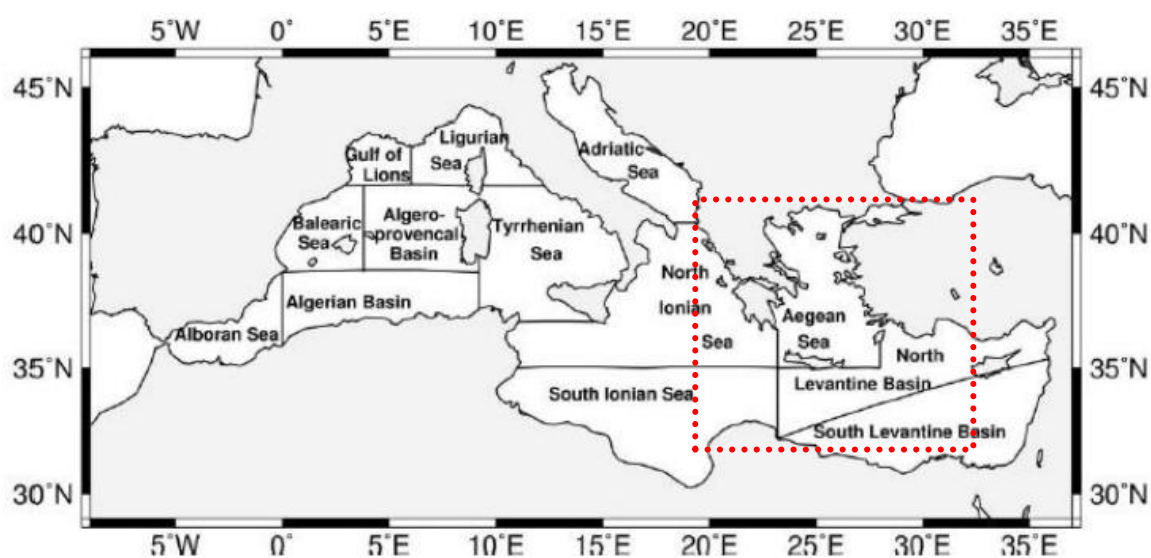
Σχετική έρευνα πραγματοποίησε το 2014, το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε), και συγκεκριμένα οι Pavlidou et. al, με σκοπό να συγκρίνουν διαφορετικούς δείκτες προσδιορισμού του ευτροφισμού. Αξιολογήθηκαν 3 βασικά εργαλεία: (α) ο δείκτης TRIX, που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της τροφικής κατάστασης παράκτιων υδάτων, (β) η κατάταξη σύμφωνα με τη βιομάζα της χλωροφύλλης-α (chl-a) και (γ) ο δείκτης ευτροφισμού (E.I.). Επιπλέον, συγκρίθηκε η σχέση μεταξύ των δεικτών του ευτροφισμού και εκείνων της οικολογικής ποιότητας (EcoQ). Την καλύτερη συσχέτιση με το δείκτη EcoQ εμφάνισε το κριτήριο της χλωροφύλλης-α ενώ τη χαμηλότερη συσχέτιση παρουσίασε ο δείκτης TRIX, ο οποίος μάλιστα, φάνηκε να υπερεκτιμά τα επίπεδα του ευτροφισμού των επιλεγμένων παράκτιων περιοχών [46].

## 4. Μεθοδολογία

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την παραγωγή και ανάλυση των χρονοσειρών χλωροφύλλης-α και θερμοκρασίας για τα έτη 2002 έως 2017, αξιοποιώντας τα φασματικά δεδομένα που λήφθηκαν από τις εικόνες του MODIS. Αρχικά, περιγράφεται η περιοχή μελέτης, η διαδικασία συλλογής των δεδομένων και έπειτα οι επιμέρους διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν μέχρι την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Ο μεγάλος όγκος δεδομένων απαιτούσε την αυτοματοποίηση μερικών διαδικασιών, γεγονός που επιτεύχθηκε με την δημιουργία scripts σε γλώσσα προγραμματισμού Python.

### 4.1. Περιοχή Μελέτης

Η Μεσόγειος Θάλασσα θεωρείται «hot spot» για την κλιματική αλλαγή, αφού χαρακτηρίζεται από oligοτροφικά έως υπερολιγοτροφικά νερά, ταχέα αυξανόμενη θερμοκρασία θαλάσσης και μεταβαλλόμενη χημεία όσον αφορά τον άνθρακα [10].



Εικόνα 5: Η λεκάνη της Μεσογείου (Πηγή: Bricaud et al. 2002)

Η λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου (Εικόνα 5), εκτείνεται στην ανατολή από 11°E έως 36°E και Βόρεια από 30°N έως 46°N και αποτελεί μία ημι-κλειστή λεκάνη με αρνητικό υδάτινο ισοζύγιο (δηλ. η εξάτμιση είναι μεγαλύτερη από την καθίζηση συν την απορροή του ποταμού). Το κανάλι της Σικελίας, με πλάτος 149 km και το στενό της Μεσσήνης, με πλάτος 4 km, συνδέουν τις λεκάνες της Ανατολικής και της Δυτικής Μεσογείου [14].

Το Αιγαίο Πέλαγος βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα της Μεσογείου, στα ανατολικά του Ιονίου και στα βορειοδυτικά της Θάλασσας της Λεβαντίνης. Το βόρειο και δυτικό όριο της

αποτελεί η ηπειρωτική Ελλάδα, ενώ το ανατολικό οι ακτές της Ασίας. Στο βορρά συνδέεται με τη θάλασσα του Μαρμαρά και τον Εύξεινο Πόντο μέσω των στενών των Δαρδανελίων και του Βοσπόρου. Το Αιγαίο χαρακτηρίζεται από μία ακανόνιστη ακτογραμμή, περίπλοκη τοπογραφική δομή και περιέχει περισσότερα από 3000 νησιά και νησίδες. Οι σημαντικότερες υδάτινες μάζες είναι το υφάλμυρο και κρύο νερό του Εύξεινου Πόντου που εισέρχεται στα βορειοανατολικά μέσω των στενών των Δαρδανελίων, τα ιδιαίτερα αλατούχα και θερμά νερά προερχόμενα που έρχονται από τη Θάλασσα της Λεβαντίνης και εισέρχονται στο νότιο Αιγαίο μέσω του Κρητικού Τόξου και τα πολύ πυκνά και βαθιά νερά που γεμίζουν τα κατώτερα στρώματα διάφορων υπό-λεικανών [15].

Στην συνέχεια, αναλύονται οι περιοχές που επιλέχθηκαν να αναλυθούν περαιτέρω στην παρούσα εργασία. Οι περιοχές αυτές επιλέχθηκαν ως παραδείγματα, είτε λόγω φυσικών χαρακτηριστικών, όπως κλειστός κόλπος, εκβολές Δέλτα ποταμού είτε λόγω ιδιαίτερων συνθηκών που επικρατούν λόγω της ανθρώπινης παρέμβασης.

#### 4.1.1. Μαλιακός Κόλπος

Ο Μαλιακός κόλπος είναι ένας ημίκλειστος, ρηχός, θαλάσσιος κολποειδής σχηματισμός στο κεντρικό τμήμα της χώρας, μεταξύ της Εύβοιας και της Στερεάς Ελλάδας, που χαρακτηρίζεται περιορισμένη κυματική δράση εξαιτίας του σχετικά μικρού του μεγέθους και πλάτους [41].



Εικόνα 6: Ο Μαλιακός Κόλπος

Το σχήμα του είναι επίμηκες, με ανατολική - δυτική διεύθυνση και διαχωρίζεται από τα φυσικά αμμώδη ακρωτήρια Χιλιομίλι (νότια) και Καραβοφάναρο (βόρεια), σε δύο υποπεριοχές (α) τον δυτικό ή εσωτερικό Μαλιακό κόλπο που περιλαμβάνει την περιοχή από τις εκβολές του Σπερχειού, την Στυλίδα, το ακρωτήρι Καραβοφάναρο και το Χιλιομίλι και (β) τον ανατολικό ή

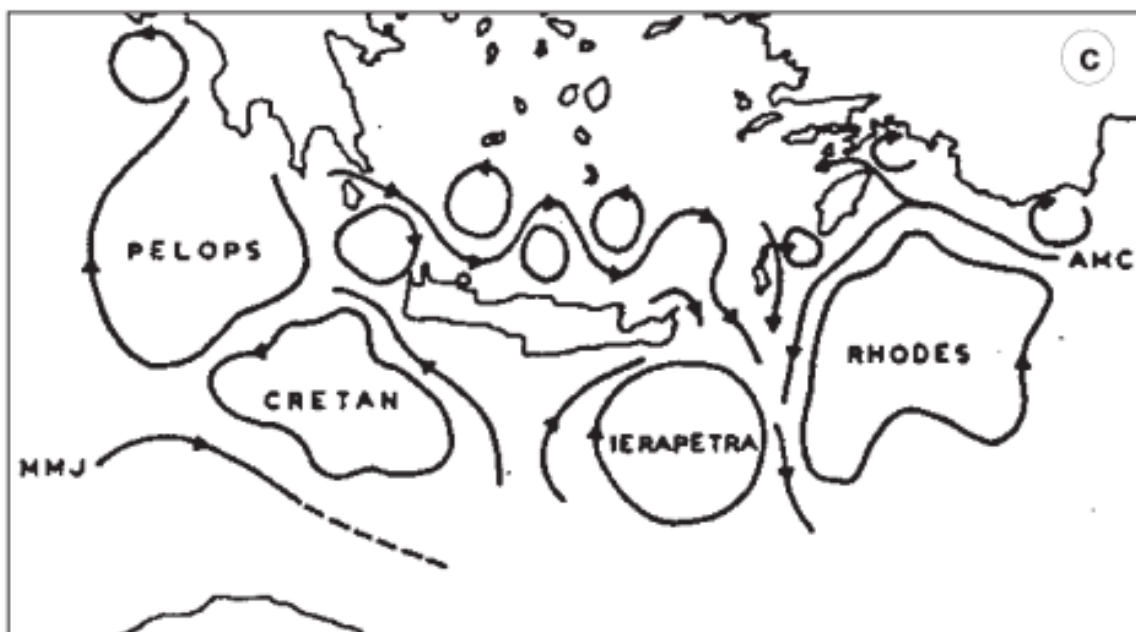
εξωτερικό Μαλιακό κόλπο που περιλαμβάνει την περιοχή ακρωτήρι Καρaboφάναρο, ακρωτήρι Τάπια, ακρωτήρι Βασιλίνας, τις νήσους Λιχάδες, ακρωτήρι Κνημίδες, τα Καμμένα Βούρλα και το ακρωτήρι Χιλιομίλι [40]. Ο ποταμός Σπερχειός είναι ο κύριος τροφοδότης του Μαλιακού κόλπου με φερτές ύλες. Έχει υπολογιστεί ότι ετησίως στο δέλτα φτάνουν  $1140080 \text{ m}^3$  φερτών υλών [28]. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις αιωρούμενου υλικού παρατηρούνται στο δυτικό τμήμα του κόλπου, όπου είναι εντονότερη η επίδραση του ποταμού. Οι εποχικές διακυμάνσεις ακολουθούν αυτές της παροχής και στερεοπαροχής του Σπερχειού, υποδεικνύοντας αξιοσημείωτη ελάττωση την καλοκαιρινή περίοδο.

Ο Σπερχειός ποταμός και, κατ' επέκταση ο Μαλιακός κόλπος, ρυπαίνονται από αγροχημικά προϊόντα (λιπάσματα και φυτοφάρμακα) που χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στη περιοχή. Οι ανάγκες των καλλιεργειών σε θρεπτικά συστατικά επικεντρώνονται σε τρία βασικά στοιχεία: το κάλιο, το άζωτο και τον φωσφόρο. Οι ανάγκες σε άζωτο καλύπτονται με προσθήκη νιτρικής αμμωνίας, θειικής αμμωνίας, ασβεστούχου θειικής αμμωνίας και με καλλιέργεια ψυχανθών. Οι ανάγκες σε φωσφόρο καλύπτονται κυρίως με προσθήκη υπερφωσφορικού και φωσφορικής αμμωνίας, ενώ οι ανάγκες σε κάλιο με τη χρήση θειικού ή νιτρικού καλίου [22].

#### 4.1.2. Αντικυκλώνας Ιεράπετρας

Ο αντικυκλώνας της Ιεράπετρας (Ierapetra Gyre) αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο εμφανίζεται νοτιο-ανατολικά της Κρήτης και σε περιοχή όπου επικρατούν υψηλές βαρομετρικές πιέσεις. Πρόκειται για ένα κινητό αντικυκλώνα, καθώς παρατηρούνται μετατοπίσεις του κέντρου του με το πέρασμα των χρόνων, και αποτελεί μεσογειακό ωκεάνιο χαρακτηριστικό περισσότερο ή λιγότερο τακτικό. Σχετίζεται με την κυκλοφορία των θαλάσσιων νερών όπου πραγματοποιούν μια δεξιόστροφη κίνηση, δεδομένου ότι είναι στο βόρειο ημισφαίριο, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται αλληλεπιδράσεις με το ανάγλυφο της νήσου Κρήτης και της ωκεάνιας κυκλοφορίας στο στενό της Κάσου. Η πορεία του ανέμου αλλάζει λόγω των βουνών, δημιουργώντας έτσι στροβιλιζουσες κινήσεις που πιθανώς να μεταφέρονται στη θάλασσα, και σχηματίζεται ως αποτέλεσμα αυτών ο γνωστός αντικυκλώνας της Ιεράπετρας. Η ισχύς του αντικυκλώνα φαίνεται να εξαρτάται από την ταχύτητα και την πορεία του ανέμου, καθώς η φάση του στροβιλισμού εμφανίζεται την ίδια περίοδο με την μέγιστη ένταση του ανέμου [23].





Εικόνα 7: Οι αντικυκλώνες της ΝΑ Μεσογείου (Πηγή: Theocharis et. al, 2013)

Ο αντικυκλώνας Ιεράπετρας θεωρείται η πιο ενεργητική δομή κυκλοφορίας της Α. Μεσογείου [6]. Η μέγιστη ανάπτυξη του αντικυκλώνα παρατηρήθηκε κατά την περίοδο Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου 1990, όπου η διάμετρος του ξεπερνούσε τα 200 km [10]. Ο αντικυκλώνας της Ιεράπετρας διακρίνεται σε διάφορες φάσεις, καθώς υπάρχουν χρονικές περίοδοι που παρατηρείται να είναι σε πλήρη έξαρση και άλλες περιόδους που βρίσκεται σε πλήρη σχεδόν «ανυπαρξία». Οι περίοδοι σχηματισμού, μέγιστης ανάπτυξης και φθοράς πιθανώς να εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον άνεμο και την στρωματοποίηση των υδάτων[23].

#### 4.1.3. Κόλπος της Αντίκυρας

Ο Κόλπος της Αντίκυρας βρίσκεται στη βόρεια ακτή του Κορινθιακού Κόλπου και περιβάλλεται από τις περιφερειακές ενότητες Φωκίδας και Βοιωτίας. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από δύο υποσυστήματα. Το νότιο που είναι πλήρως εκτεθειμένο στην κυματική δράση ενώ το βόρειο είναι προστατευμένο σε ένα ημίκλειστο κόλπο [21]

Οι ακτές του κόλπου βρίσκονται οι οικισμοί Άσπρα Σπίτια και η Αντίκυρα, που διαθέτει ένα μικρό λιμάνι πρόσδεσης σιαφών. Γενικότερα, ο Κορινθιακός Κόλπος υποστηρίζει σημαντική βιοποικιλότητα και σπάνια είδη και αποτελεί πηγή ζωής για τις μικρές και μεγαλύτερες πόλεις κατά μήκος των ακτών του [30].

Στη περιοχή, και συγκεκριμένα στον όρμο του Αγίου Νικολάου, στα Άσπρα Σπίτια, βρίσκονται οι εγκαταστάσεις του εργοστασίου «ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ Α.Ε.». Το εργοστάσιο παραγωγής αλουμινίου, ιδρύθηκε το 1960 και έχει εγκαταστήσει ένα σύστημα υποθαλάσσιας

έκχυσης ερυθράς ιλύος(στερεό απόβλητο από βωξίτη) στον κόλπο. Η έκχυση της στον κόλπο συντελείται με δύο αγωγούς, που απολήγουν σε βάθος περίπου 20 m και η συνεχής απόρριψη της στο θαλάσσιο χώρο δημιουργεί μεγάλες και μακροχρόνιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις [30].

Συγκεκριμένα, τόσο η ρύπανση όσο και η μείωση των ιχθυαποθεμάτων έχουν οδηγήσει στη μείωση των πληθυσμών των δελφινιών που άλλοτε έβρισκαν καταφύγιο στην περιοχή. Στο Κορινθιακό βρίσκονται άλλωστε και οι εντυπωσιακές γοργονίες, εντυπωσιακά κίτρινα και κόκκινα κοράλλια, την ανάγκη προστασίας των οποίων έχει επισημάνει και επιστημονική ομάδα του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Μελετών (ΕΛΚΕΘΕ). Στην περιοχή, τέλος, υπάρχουν λιβάδια φυκιών οι λεγόμενες Ποσειδωνίες, που έχουν μεγάλη σημασία καθώς προστατεύουν τον θαλάσσιο πυθμένα και οι οποίες τελευταία μειώνονται με γρήγορους ρυθμούς. Τα παραπάνω φανερώνουν την ανησυχητική κατάσταση στην οποία βρίσκεται το θαλάσσιο περιβάλλον του κόλπου. Ο καθορισμός του, ως θαλάσσιο καταφύγιο, σύμφωνα με την Greenpeace θα βοηθήσει όχι μόνο τη βελτίωση της κατάστασης του περιβάλλοντος αλλά και τον τουρισμό της περιοχής [56].

#### **4.1.4. Σαρωνικός Κόλπος**

Ο Σαρωνικός κόλπος έχει έκταση 3.000 km<sup>2</sup> και οριοθετείται βόρεια από τις ακτές του νομού Αττικής, βορειοδυτικά και δυτικά από τις ακτές του νομού Κορινθίας και νοτιοδυτικά από τις ακτές του νομού Αργολίδος. Νότια επεκτείνεται ως το ακρωτήριο Σουνίου και Σκύλλαιο της Τροιζήνας, ενώ βορειοδυτικά, έως τον κλειστό Κορινθιακό κόλπο. Χωρίζεται σε δύο λειάνες, μια δυτική και μια ανατολική. Η δυτική λειάνη οριοθετείται από τη γραμμή Μεθάνων-Αίγινας και Αίγινας-Σαλαμίνας. Η ανατολική χωρίζεται σε εσωτερική στα βόρεια και εξωτερική στα νότια από τη γραμμή Αίγινας - Φλεβών. Στα βόρεια βρίσκεται ο κόλπος της Ελευσίνας, ο οποίος επικοινωνεί στα νότια με τον υπόλοιπο κόλπο με το δίαυλο του Κερατσινίου και με ένα άλλο δίαυλο στα δυτικά [18].

Οι ακτές του Σαρωνικού, παρουσιάζουν έντονο οριζόντιο και κατακόρυφο διαμελισμό. Οι τμήμα τους ομαλές και έχουν σχηματιστεί από ποταμοθαλάσσιες αποθέσεις. Σ' αυτές τις ακτές περιλαμβάνονται και οι εκβολές του Κηφισού και του Ιλισού, ενώ γενικά, δεν υπάρχουν σημαντικοί ποταμοί που να εκβάλλουν στο Σαρωνικό και οι βροχοπτώσεις είναι μικρής διάρκειας, κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο[26].

Ο Σαρωνικός κόλπος περιλαμβάνει πάνω από 30 λιμάνια, μαζί με του Πειραιά, που είναι το μεγαλύτερο λιμάνι της Ελλάδας, Στις ακτές του χωροθετούνται οι σημαντικότερες βιομηχανικές, ναυτικές, λιμενικές και ναυπηγοεπισκευαστικές εγκαταστάσεις της χώρας Επίσης, υπάρχουν κατά

μήκος του πολυάριθμες παραλίες και φυσικές προστατευόμενες περιοχές. Λόγω της γειτνιάσής του με την Αθήνα, ο ρόλος του είναι πολύ σημαντικός στην οικονομία και τη ναυτιλία. Η μεγάλη ναυτιλιακή κίνηση που παρουσιάζει, αυξάνει την πιθανότητα εκδήλωσης ατυχήματος [18]



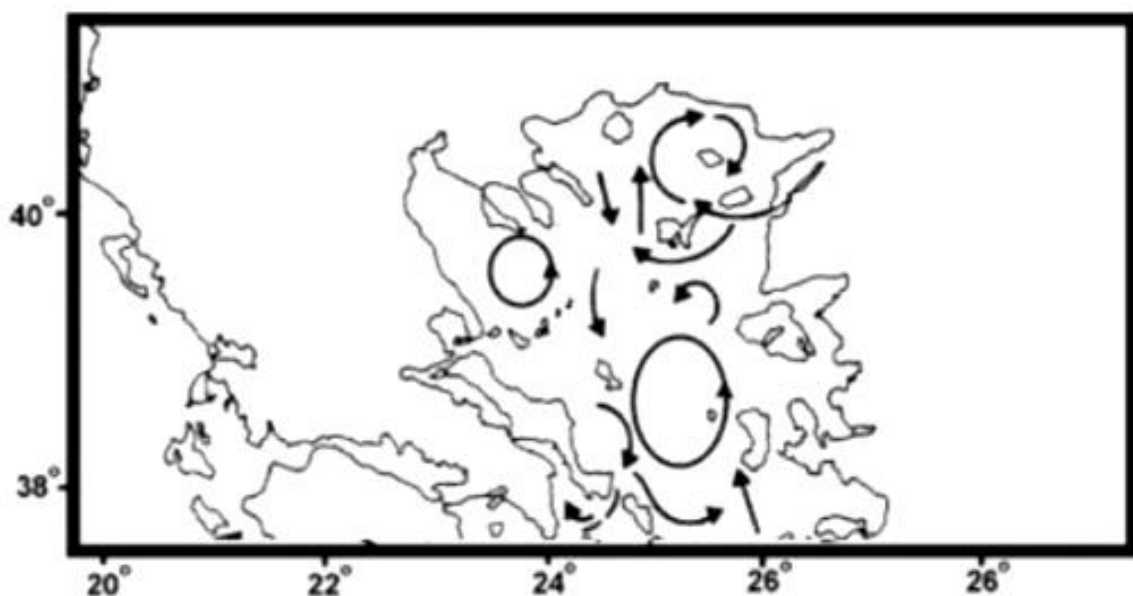
Εικόνα 8: Κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Ψυτάλλειας

Ο Σαρωνικός επιβαρύνεται ημερησίως με  $150000 \text{ m}^3$  βιομηχανικών αποβλήτων από 500 περίπου βιομηχανίες (διυλιστήρια, ναυπηγεία, χημικές βιομηχανίες, βιομηχανίες τροφίμων κ.λπ.). Από το 1994, ξεκίνησε η λειτουργία του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυτάλλειας (ΚΕΛΨ), ενώ το 2007 μπήκε στην γ' φάση λειτουργίας του με αποτέλεσμα την βελτίωση της οικολογικής κατάστασης του Σαρωνικού. Συγκεκριμένα, τα λύματα οδηγούνται αρχικά μέσω του κεντρικού αποχετευτικού αγωγού στη Μονάδα Κερατσινίου όπου υφίστανται επεξεργασία για τη συγκράτηση των στερεών. Στη συνέχεια υποθαλάσσιος αγωγός μεταφέρει τα λύματα στη μονάδα πρωτογενούς επεξεργασίας της Ψυτάλλειας [33]. Σήμερα, πραγματοποιείται βιολογική επεξεργασία σε λύματα μέσης παροχής ξηράς περιόδου περίπου  $730.000 \text{ m}^3/\text{d}$  και υπάρχει πρόβλεψη για αύξηση της δυναμικότητας σε  $1000000 \text{ m}^3/\text{d}$  με χρονικό ορίζοντα το έτος 2020 [35].

#### 4.1.5. Κόλπος Αλεξανδρούπολης – Εκβολές Έβρου

Ο κόλπος της Αλεξανδρούπολης βρίσκεται στο βορειοανατολικό περιθώριο του Θρακικού Πελάγους, στο Βόρειο Αιγαίο Πέλαγος. Η κυκλοφορία στο Βόρειο Αιγαίο καθορίζεται κυρίως, από τη μείξη των ζεστών και αλμυρών νερών, κυκλωνικής κυκλοφορίας, που ανέρχονται από τη θάλασσα της Λεβαντίνης, κατά μήκος των ακτών της Μικράς Ασίας, με τα εισερχόμενα, μέσω

του στενού των Δαρδανελίων, νερά χαμηλής θερμοκρασίας και αλατότητας της Μαύρης Θάλασσας [27].



Εικόνα 9: Η κυκλοφορία των υδάτων στο Β.Αιγαίο (Πηγή: Lykousis et. Al 2002)

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 9, τα νερά της Μαύρης Θάλασσας χωρίζονται σε ρεύματα, από τα οποία, το ένα στρέφεται νοτιοδυτικά της Λήμνου και το άλλο κινείται προς τα βορειοδυτικά και παρασύρεται από τον αντικυκλώνα της Σαμοθράκης [27]

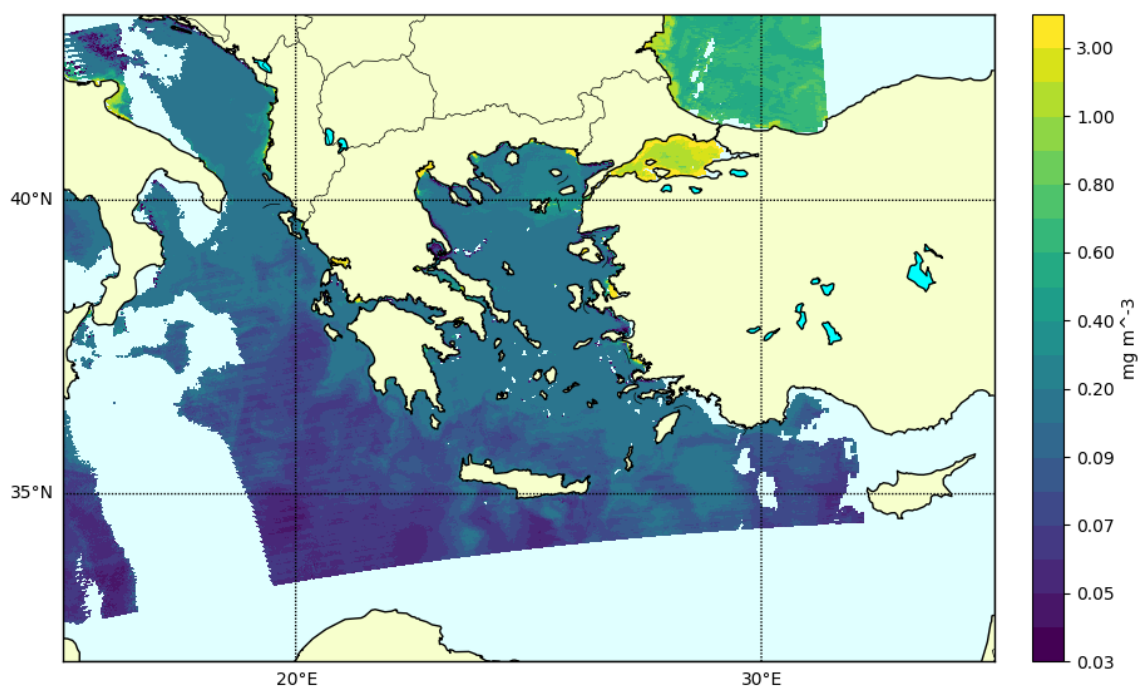
Στο ανατολικό χερσαίο τμήμα της περιοχής αναπτύσσεται το Δέλτα του ποταμού Έβρου. Ο Έβρος είναι το μεγαλύτερο ποτάμι της Βαλκανικής Χερσονήσου με συνολικό μήκος 540 km και έκταση περίπου 53.000 km<sup>2</sup>. Η ετήσια απορροή του υπολογίζεται 3250106 m<sup>3</sup> [25] ενώ βάσει μετρήσεων (στο σταθμό Κήποι) από την τελευταία πεντηκονταετία έχει υπολογιστεί ότι η μέση ετήσια παροχή του ποταμού Έβρου είναι περίπου 230 m<sup>3</sup>/sec [27]. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 60 χρόνων ο Έβρος έχει υποστεί έντονα την ανθρώπινη παρέμβαση, όπως με την κατασκευή μιας σειράς υδροηλεκτρικών, αρδευτικών και υδρευτικών φραγμάτων κατά μήκος των κυρίων παραποτάμων του, την κατασκευή αντιπλημμυρικών αναχωμάτων και την ευθυγράμμιση της κύριας κοίτης του στο νότιο τμήμα του. Το Δέλτα του Έβρου ποταμού έχει έκταση περίπου 188 km<sup>2</sup> και συμπεριλαμβάνει τέσσερις μόνιμες λιμνοθάλασσες (Λακί, Δράνα, Παλούκια και Νυμφών) και τις μακρόστενες νησίδες Ασάνη, Καραβιού και Ξηράδι, προστατεύεται από τη διεθνή σύμβαση RAMSAR [27].

## 4.2. Συλλογή δεδομένων

### 4.2.1. Συλλογή Δορυφορικών Δεδομένων MODIS

Αρχικά, μεταφορτώθηκαν τα αρχεία Sea Surface Temperature (SST) και Ocean Color (OC) από τα προϊόντα Level-2, για τη χρονική περίοδο 04/07/2002 έως 21/10/2017. Τα αρχεία αυτά είναι της μορφής Network Common Data Form 4 (NetCDF4), που αποτελεί ένα μορφότυπο ιεραρχικών δεδομένων που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση μεγάλου όγκου πληροφοριών, εκδίδονται από το δορυφόρο Aqua και η λήψη τους είναι δωρεάν. Συνολικά, λήφθηκαν 6646 αρχεία OC και 6646 αρχεία SST συνολικού όγκου 164 GB [51].

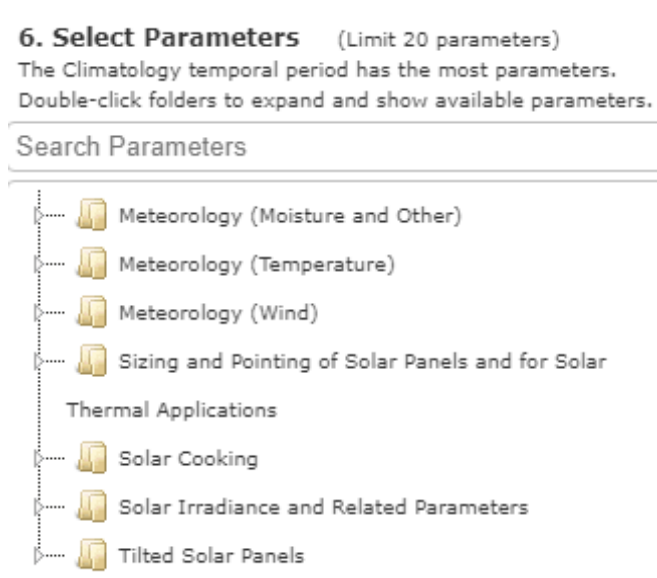
Τα προϊόντα επιπέδου Level-2 των ωκεανών παρέχουν σχεδόν καθημερινές μετρήσεις του χρώματος του ωκεανού και μετρήσεις SST σε ανάλυση 1 km με ανερχόμενη / φθίνουσα κάλυψη ημέρας / νύχτας. Ο λόγος που επιλέχθηκαν αυτού του είδους τα δεδομένα είναι ότι τα χαρτογραφημένα δεδομένα παγκόσμιας κλίμακας (επιπέδου 3), είναι χαμηλότερης χωρικής ανάλυσης (της τάξης των 9 km και 4 km). Σημειώνεται ακόμα, πως στα δεδομένα επιπέδου 2 της χλωροφύλλης, τα εικονοστοιχεία στα οποία είχε εντοπιστεί ύπαρξη σύννεφου έχουν αποκλειστεί από τα τελικά προϊόντα. Αντίθετα, στα δεδομένα της θερμοκρασίας τα ίδια εικονοστοιχεία υπάρχουν κανονικά, συνήθως με την επισήμανση κακής ποιότητας (Quality Level 3), αφού συνήθως αποτελούν ακραίες υποτιμήσεις της τιμής της θερμοκρασίας [51]. Τα δεδομένα της χλωροφύλλης-α που επιλέχθηκαν αποτελούν προϊόντα του αλγορίθμου OC για τα ολιγοτροφικά νερά.



Εικόνα 10: Χάρτης Chl-a της Αν. Μεσογείου

#### 4.2.2. Συλλογή δεδομένων βροχοπτώσης

Για την επιπλέον, εξέταση των συνθηκών στις διάφορες περιοχές θεωρήθηκε χρήσιμο να γίνει σύγκριση των τιμών της χλωροφύλλης-α και της θερμοκρασίας με τα επίπεδα των βροχοπτώσεων σε κάθε περιοχή. Τα δεδομένα αυτά, για τις αντίστοιχες περιοχές, εξάχθηκαν μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής POWER Data Access Viewer (DAV) και προέρχονται από το μοντέλο επανανάλυσης ατμοσφαιρικών δεδομένων MERRA-2 (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications). Η συγκεκριμένη εφαρμογή περιέχει παραμέτρους σχετικές με την ηλιακή ακτινοβολία τη μετεωρολογία με σκοπό να αξιοποιηθούν για το σχεδιασμό συστημάτων ανανεώσιμης ενέργειας. Η διαδικασία εξαγωγής των δεδομένων είναι απλή και δωρεάν [49].



Εικόνα 11: Οι κατηγορίες των παραμέτρων της εφαρμογής DAV (Πηγή: <https://power.larc.nasa.gov/>)

Αρχικά, η εφαρμογή ζητάει να οριστεί, είτε το σημείο (φ, λ), είτε η περιοχή (πολύγωνο) για το οποίο θα εξαχθούν τα δεδομένα. Στη συνέχεια, ο χρήστης επιλέγει τις παραμέτρους καθώς και τη μορφή στην οποία θέλει να τα αποθηκεύσει [48]. Για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας, μεταφορτώθηκαν οι τιμές των κατακρημνίσεων (Precipitation) σε χιλιοστά ανά ημέρα (mm/d). Τα συγκεκριμένα δεδομένα, αντιπροσωπεύουν εκτιμήσεις της ημερήσιας μέσης τιμής στις περιοχές που αναφέρθηκαν παραπάνω, για τη χρονική περίοδο 04/07/2002 έως 21/10/2017.



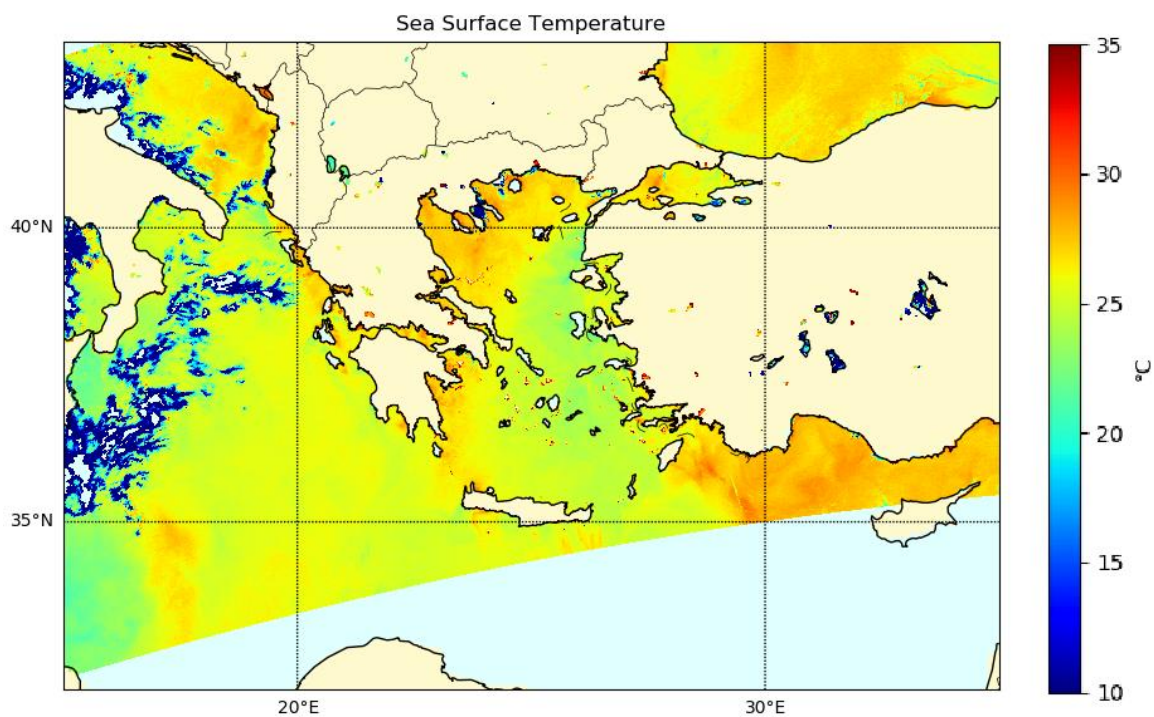
### 4.3. Εξαγωγή Δεδομένων



Εικόνα 12: Οι θέσεις των επιλεγμένων σημείων στην Αν. Μεσόγειο

Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SeaDAS για να προβληθούν τα αρχεία «.nc», που αναφέρθηκαν παραπάνω, και να γίνει μία πρώτη αξιολόγηση των δεδομένων. Έτσι, δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι χάρτες χλωροφύλλης (Chl-a) και θερμοκρασίας (SST), δειγματικά ώστε να επιλεχθούν οι περιοχές που συγκεντρώνουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Η δημιουργία των χαρτών έγινε με την βοήθεια ενός κώδικα σε γλώσσα Python.

Οι περιοχές αυτές (Εικόνα 12), αποτελούν κυρίως κλειστούς κόλπους, παράκτιες περιοχές και σημεία στην ανοιχτή θάλασσα που καλύπτουν σημαντικό τμήμα της λεκάνης της Αν. Μεσογείου.



Εικόνα 13: Χάρτης SST της Αν. Μεσογείου

Στον πίνακα (Πίνακας 8) που ακολουθεί φαίνονται οι διαφορετικές περιοχές (28) που επιλέχθηκαν και ο αριθμός σημείων (69) ανά περιοχή για τα οποία έγινε εξαγωγή των δεδομένων.

α/α	Περιοχή	Αριθμός σημείων
1	Αμβρακικός Κόλπος	3
2	Αν. Παράλια Λέσβου	2
3	Αντικυκλώνας Ιεράπετρας	2
4	Αντικυκλώνας Πελοποννήσου	2
5	Αργολικός Κόλπος	2
6	Β. Ευβοϊκός Κόλπος	3
7	ΒΑ Κύπρου	2
8	ΒΔ Κύπρου	3
9	Δέλτα Έβρου	3
10	Θερμαϊκός Κόλπος	6
11	Κόλπος Αντίκυρας	2



12	Κορινθιακός Κόλπος	6
13	Κρητικό πέλαγος	2
14	Κυκλώνας Κρήτης	2
15	Κυκλώνας Ρόδου	2
16	Μαλιακός Κόλπος	1
17	Ν. Ευβοϊκός Κόλπος	2
18	ΝΑ Κύπρου	2
19	Νότιο Στενό Κέρκυρας	2
20	Παγασητικός Κόλπος	2
21	Παράλια Πρέβεζας	1
22	Παράλια Τουρκίας (Αν. Λήμνου)	3
23	Παράλια Τουρκίας (Αν. Λέρου)	2
24	Παράλια Τουρκίας (Αν. Σάμου )	2
25	Παράλια Τουρκίας (Αττάλεια)	2
26	Πατραϊκός Κόλπος	2
27	Σαρωνικός Κόλπος	5
28	Στενό Ελλήσποντου	1

Πίνακας 8: Επιλεγμένες περιοχές και αριθμός σημείων

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο μεγάλος όγκος δεδομένων κατέστησε αναγκαία την δημιουργία ενός αλγόριθμου, που να εξάγει αυτόματα τις τιμές της χλωροφύλλης και της θερμοκρασίας. Η διαδικασία και οι κανόνες που κατασκευάστηκαν και ακολουθεί ο αλγόριθμος περιγράφονται στη συνέχεια.

```

59         # Find pixel
60         s=lon-loni
61         f=lat-lati
62         m=np.abs(s) + np.abs(f)
63         idx=np.unravel_index(m.argmin(),m.shape)
64         if np.amin(m)<0.02: #minimize dist
65             [x,y]=idx
66             sst_a=sst[idx]
67             qual_a=qual[idx]
68
69         # Create slice
70         sst_s=sst[x-1:x+2,y-1:y+2]
71

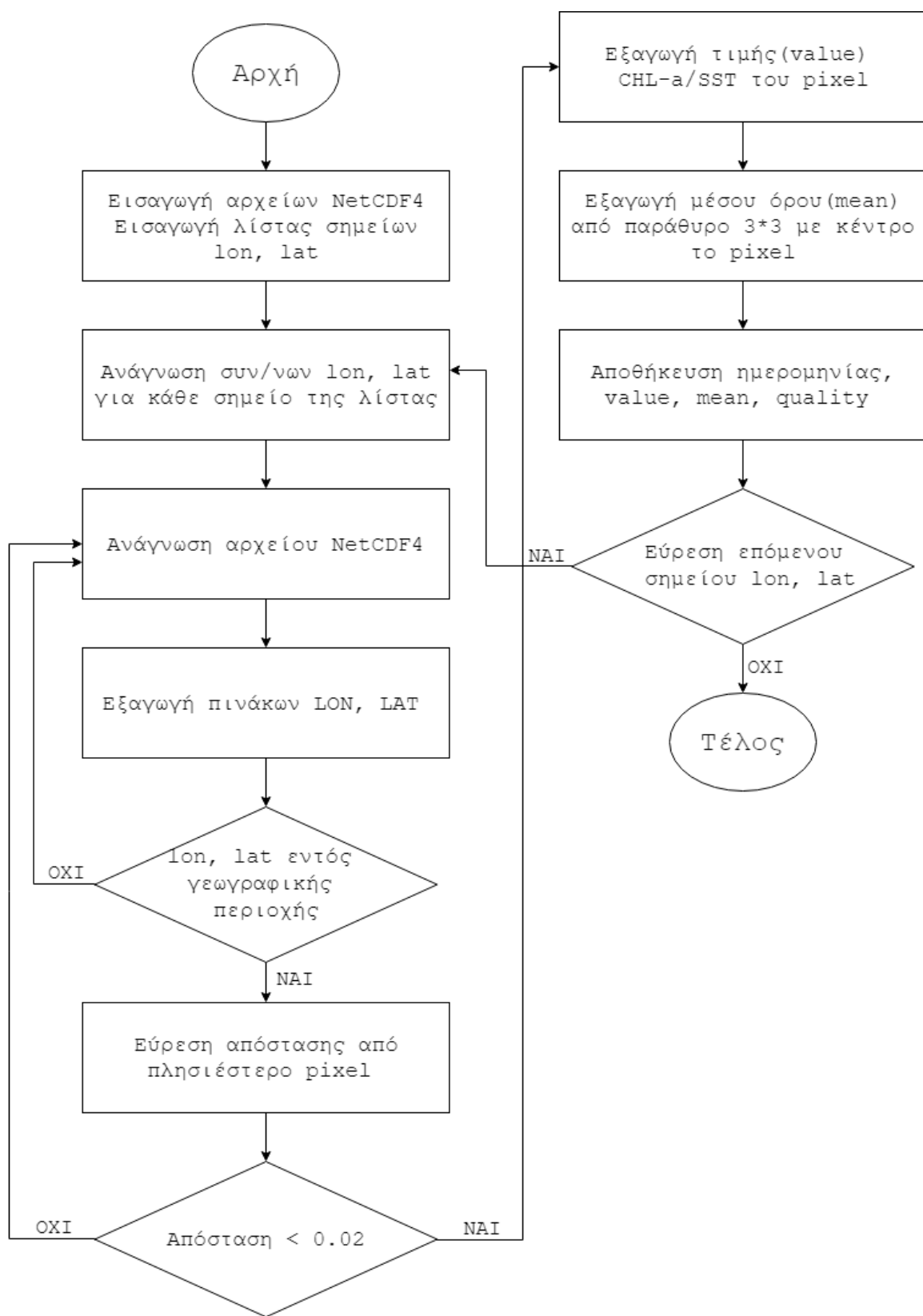
```

Εικόνα 14: Απόσπασμα του κώδικα εξαγωγής

Αρχικά, εισάγονται τα αρχεία NetCDF4 καθώς και η λίστα με τα  $\varphi$ ,  $\lambda$  των σημείων που αναφέρθηκαν παραπάνω και γίνεται ανάγνωση τους. Στο πρώτο βήμα, συγκρίνεται το πρώτο ζεύγος ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ) με τους αντίστοιχους πίνακες του πρώτου αρχείου «nc» και εξακριβώνεται αν το σημείο είναι εντός της γεωγραφικής περιοχής που καλύπτει η δορυφορική εικόνα. Σε περίπτωση που δεν ανήκει, τότε η διαδικασία προχωράει και γίνεται αναζήτηση του ίδιου σημείου στο επόμενο αρχείο «nc». Αν το σημείο ανήκει στην δορυφορική εικόνα, τότε αφαιρείται η τιμή του γεωγραφικού πλάτους και μήκους του σημείου από τους αντίστοιχους πίνακες του αρχείου «nc». Στη συνέχεια, αθροίζονται οι δύο νέοι πίνακες που προέκυψαν από τις διαφορές αυτές και εντοπίζεται η ελάχιστη τιμή του. Μετά από δοκιμές επιλέχθηκε πως αυτή η τιμή αντιστοιχίζεται στο καλύτερο pixel όταν είναι μικρότερη του 0,02 (Εικόνα 14). Αν δεν βρεθεί σημείο που να ικανοποιεί αυτή τη συνθήκη, τότε η διαδικασία επαναλαμβάνεται για το επόμενο αρχείο «nc». Αλλιώς, γίνεται εξαγωγή της τιμής της χλωροφύλλης ή της θερμοκρασίας αντίστοιχα, ενώ ταυτόχρονα υπολογίζεται μέσος όρος από παράθυρο 3\*3 με κέντρο το pixel.

Τέλος, αποθηκεύεται σε ένα αρχείο «txt», η ημερομηνία λήψης της δορυφορικής εικόνας, η τιμή της χλωροφύλλης ή της θερμοκρασίας αντίστοιχα, ο μέσος όρος της τιμής από το παράθυρο 3\*3, καθώς και η τιμή του quality flag που αντιστοιχεί στο κάθε pixel. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλα τα αρχεία NetCDF4 και για όλα τα σημεία.

Μέσω της διαδικασίας που περιγράφηκε, δημιουργήθηκαν 138 αρχεία, δύο για κάθε σημείο που περιλαμβάνουν τις τιμές της χλωροφύλλης και της θερμοκρασίας αντίστοιχα. Στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί, παρουσιάζεται η διαδικασία εξαγωγής το δεδομένων που περιγράφηκε παραπάνω. Σημειώνεται, πως ο συνολικός χρόνος εξαγωγής, των τιμών της χλωροφύλλης και της θερμοκρασίας ταυτόχρονα, ήταν περίπου 60 ώρες. Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Εικόνα 15), παρουσιάζονται τα στάδια της διαδικασίας που αναλύθηκε παραπάνω.



Εικόνα 15: Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου εξαγωγής

#### 4.4. Επεξεργασία και Ανάλυση Δεδομένων

Μελετώντας τη σχετική βιβλιογραφία και παρατηρώντας τις τιμές chl-a και sst, που εξάχθηκαν με τη διαδικασία που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα, ορίστηκαν τα αντίστοιχα εύρη τιμών, ώστε να αποκλειστούν οι τιμές που δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Το εύρος τιμών που επιλέχθηκε για τη χλωροφύλλη είναι  $0.001 - 10 \text{ mg m}^{-3}$  και για τη θερμοκρασία  $10 - 35^\circ\text{C}$ . Οι τιμές που βρίσκονται εκτός αυτών των ορίων δεν συμμετείχαν στην περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι των τιμών, ο αριθμός παρατηρήσεων, η τυπική απόκλιση, καθώς και η μέγιστη και ελάχιστη τιμή ανά εβδομάδα για όλες τις περιοχές. Από αυτά τα στοιχεία, παρατηρήθηκε ότι τα δεδομένα της χλωροφύλλης έχουν γενικά περισσότερες ελλείψεις από της θερμοκρασίας. Αυτό είναι κάτι λογικό και αναμενόμενο, αφού η ύπαρξη σύννεφων κατά την λήψη της δορυφορικής εικόνας δημιουργεί σφάλματα στη μέτρηση της χλωροφύλλης με αποτέλεσμα να έχουν αποκλειστεί από τα προϊόντα Level-2 του MODIS.

Ταυτόχρονα, δημιουργήθηκαν οι πρώτες χρονοσειρές στις οποίες δοκιμάστηκε να χρησιμοποιηθούν οι μέσοι όροι που ικανοποιούσαν τα παρακάτω κριτήρια:

1) Ο αριθμός παρατηρήσεων ανά εβδομάδα να είναι μεγαλύτερος ή ίσος του 3

2) Ο μέσος όρος ανά εβδομάδα να ικανοποιεί την σχέση:

$$MEAN \leq |VAL(i) + a * STD|$$

Όπου MEAN ο μέσος όρος ανά εβδομάδα,  $VAL_{(i)}$  οι ημερήσιες τιμές που συμμετέχουν στον υπολογισμό του εκάστοτε μέσου όρου και STD η τυπική απόκλιση. Όσον αφορά το συντελεστή “a” δοκιμάστηκαν διάφορες τιμές από το 0.8 έως το 1.4 και δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχες χρονοσειρές.

Ωστόσο, αυτή η μεθοδολογία δεν φάνηκε αποτελεσματική γιατί οδηγούσε στον αποκλεισμό τεράστιου όγκου δεδομένων και κατ’ επέκταση στην αδυναμία δημιουργίας χρονοσειρών, κυρίως για τα δεδομένα της χλωροφύλλης.

## 4.5. Αθροιστικό Μοντέλο Ανάλυσης Χρονοσειρών

Στις αρχικές χρονοσειρές που δημιουργήθηκαν, παρατηρήθηκε ότι τόσο η χλωροφύλλη όσο και η θερμοκρασία διακρίνονται από περιοδικότητα. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε να αναλυθούν τελικά σε συνιστώσες εποχικότητας, τάσης αλλά και την τυχαία συνιστώσα.

Η **Εποχικότητα (Seasonal Variation)  $S_t$**  αποτελεί μία κυκλική διακύμανση με περίοδο ένα έτος. Ανά έτος επαναλαμβάνεται ρυθμικά και γι αυτό είναι περιοδική.

Η **Τάση (Trend)  $T_t$**  είναι η μακροχρόνια γενική κίνηση που ακολουθεί η χρονοσειρά. Μπορεί να είναι ανοδική ή καθοδική.

Η **Τυχαία Συνιστώσα (Random/Irregular Variation)  $I_t$**  θεωρείται οποιαδήποτε μεταβολή δεν οφείλεται σε κάποια από τις παραπάνω τυχαίες συνιστώσες. Η τυχαία συνιστώσα παρουσιάζει ακανόνιστες μεταβολές (μικρές ή μεγάλες, θετικές ή αρνητικές) οι οποίες διακρίνονται σε:

- συμπτωματικές (απρόβλεπτα γεγονότα)
- τυχαίες (στην τύχη)

Υπάρχουν δύο βασικά μοντέλα ανάλυσης των χρονοσειρών σε συνιστώσες. Το προσθετικό (additive decomposition) και το πολλαπλασιαστικό (multiplicative decomposition). Το προσθετικό υπόδειγμα που θεωρεί ότι τα δεδομένα προκύπτουν από την πρόσθεση των συνιστωσών τους και το πολλαπλασιαστικό το οποίο θεωρεί ότι τα δεδομένα προέρχονται από το γινόμενο των συνιστωσών τους.

Μοντέλο	Τρόπος σύνδεσης συνιστωσών
Προσθετικό	$Y_t = S_t + T_t + I_t$
Πολλαπλασιαστικό	$Y_t = S_t * T_t * I_t$

Πίνακας 9: Μοντέλα ανάλυσης χρονοσειρών

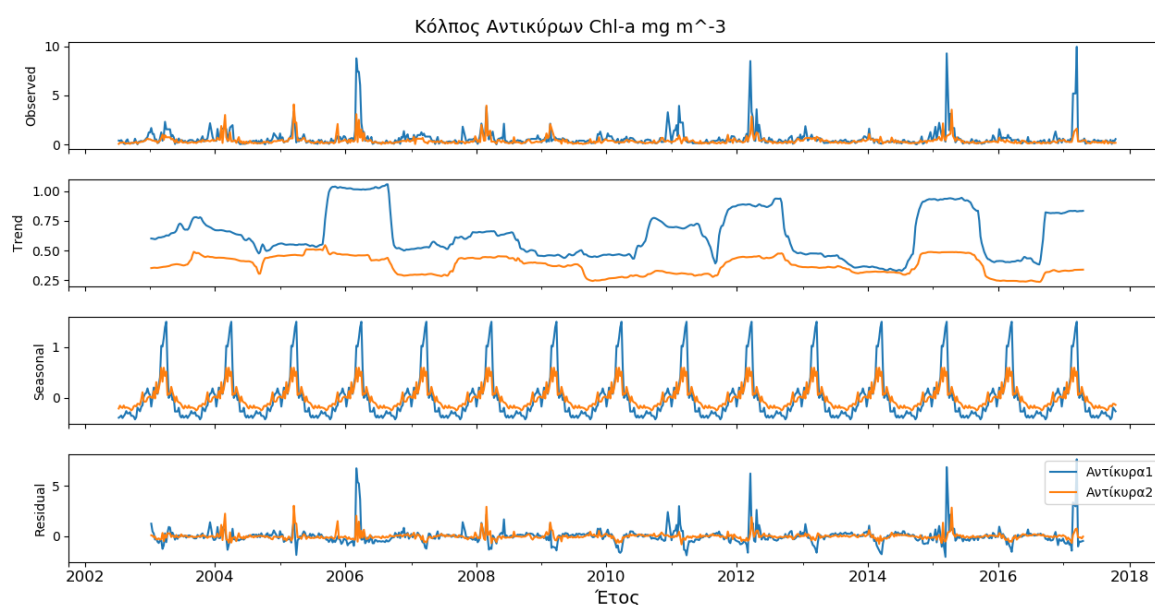
Το αθροιστικό υπόδειγμα είναι το πιο διαδεδομένο και χρησιμοποιείται για δεδομένα των οποίων οι τιμές έχουν φυσικό νόημα. Το πολλαπλασιαστικό μοντέλο είναι διαδεδομένο για περιπτώσεις αποσύνθεσης πιο αφηρημένων χρονοσειρών, όπως οι οικονομικές σειρές [27].

Με βάση τα παραπάνω, η ανάλυση των χρονοσειρών της θερμοκρασίας και της χλωροφύλλης, έγινε με το αθροιστικό μοντέλο, αξιοποιώντας την βιβλιοθήκη statsmodels και συγκεκριμένα την εντολή “seasonal\_decompose()” σε γλώσσα Python. Η συγκεκριμένη συνάρτηση, υπολογίζει τις

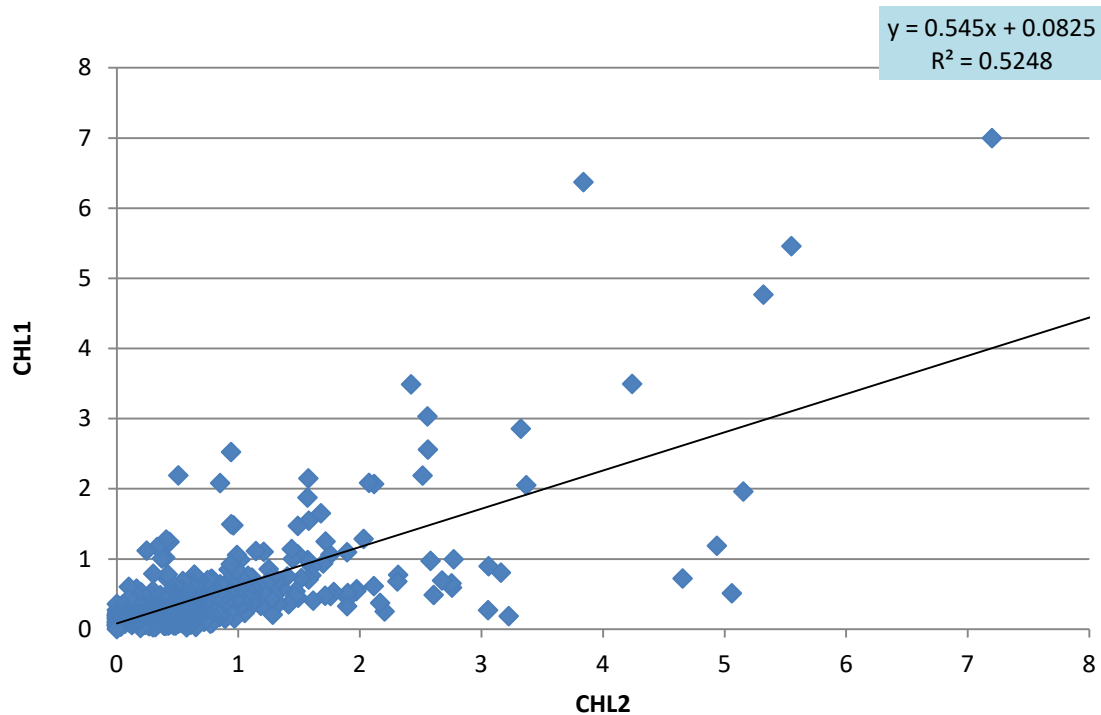
συνιστώσες που περιγράφηκαν παραπάνω, και εμφανίζει σαν αποτέλεσμα τα τέσσερα αντίστοιχα διαγράμματα συναρτήσεως του χρόνου.

Αρχικά, δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα των συνιστωσών χλωροφύλλης και θερμοκρασίας ανά περιοχές, σύμφωνα με την ομαδοποίηση που των σημείων που φαίνεται στον Πίνακα 8. Για τη διευκόλυνση της διαδικασίας αυτής, ενοποιήθηκαν τα αρχεία «.txt» ανά περιοχή. Επιπλέον, κατασκευάστηκαν διαγράμματα της διασποράς των τιμών ανά περιοχή ώστε να διερευνηθεί αν υπάρχει συσχέτιση, με σκοπό να πυκνωθούν οι μετρήσεις εξάγοντας μέσο όρο ανά περιοχή.

Στο παράδειγμα, που ακολουθεί, φαίνεται το αθροιστικό μοντέλο χρονοσειράς της χλωροφύλλης στον Κόλπο της Αντίκυρας, όπου είχαν εξαχθεί οι τιμές της από δύο σημεία, καθώς και το διάγραμμα διασποράς.



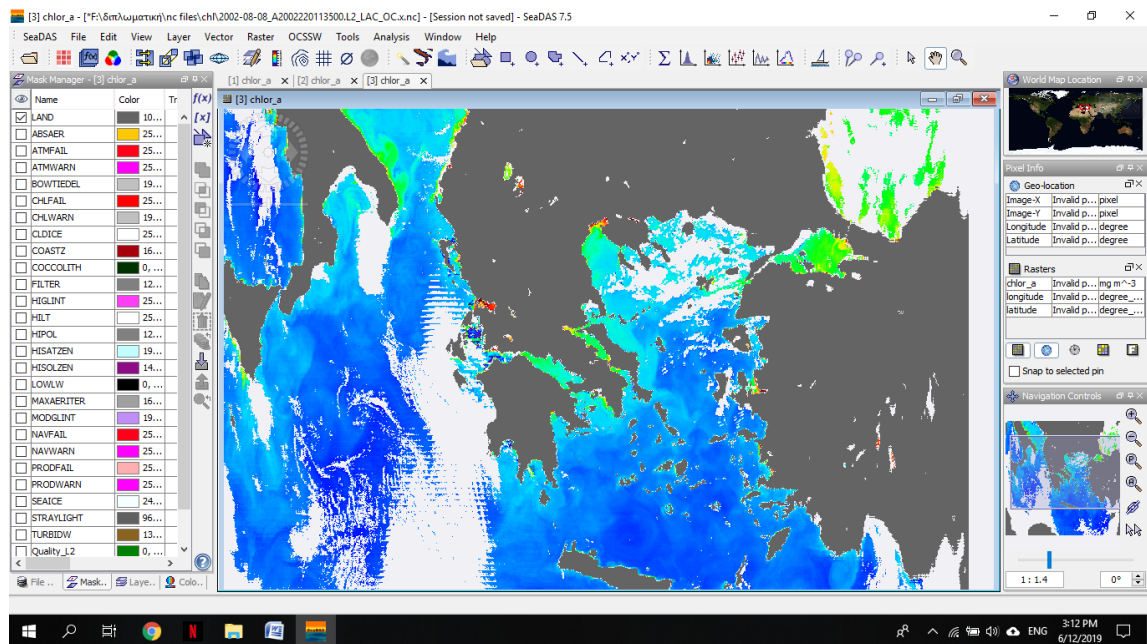
Εικόνα 16: Ανάλυση χρονοσειρών χλωροφύλλης-α στον Κόλπο της Αντίκυρας



Εικόνα 17: Διασπορά τιμών chl-a στον Κόλπο της Αντίκυρας

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε για όλες τις περιοχές και κατ' επέκταση δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα τόσο για τη χλωροφύλλη όσο και για τη θερμοκρασία.

Τα διαγράμματα αυτά, συντέλεσαν στην περαιτέρω προσπάθεια εξάλειψης τυχαίων σφαλμάτων των δεδομένων. Παρατηρήθηκε, ότι η τυχαία συνιστώσα ( $I_t$ ), που όπως αναφέρθηκε παραπάνω αποτελεί τον «θόρυβο» που δεν μπορεί να εξηγηθεί μέσω κάποιας από τις άλλες συνιστώσες, έπαιρνε κατά κύριο λόγο τιμές κοντά στο 0, αλλά εμφάνιζε κάποιες ακραίες διακριτές τιμές. Για να εξηγηθεί αν αυτές οι τιμές ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα ή οφείλονται σε σφάλματα των δεδομένων, εντοπίστηκαν οι ημερομηνίες στις οποίες αναφέρονται και προβλήθηκαν οι αντίστοιχες δορυφορικές εικόνες, χρησιμοποιώντας το λογισμικό SeaDAS (Εικόνα 18). Έτσι, αποφασίστηκαν οι παραδοχές και κανόνες που ακολούθηθηκαν για την παραγωγή των τελικών χρονοσειρών, οι οποίες αναλύονται στην επόμενη ενότητα.



Εικόνα 18: Το περιβάλλον του SeaDAS

#### 4.6. Ανάλυση χρονοσειρών

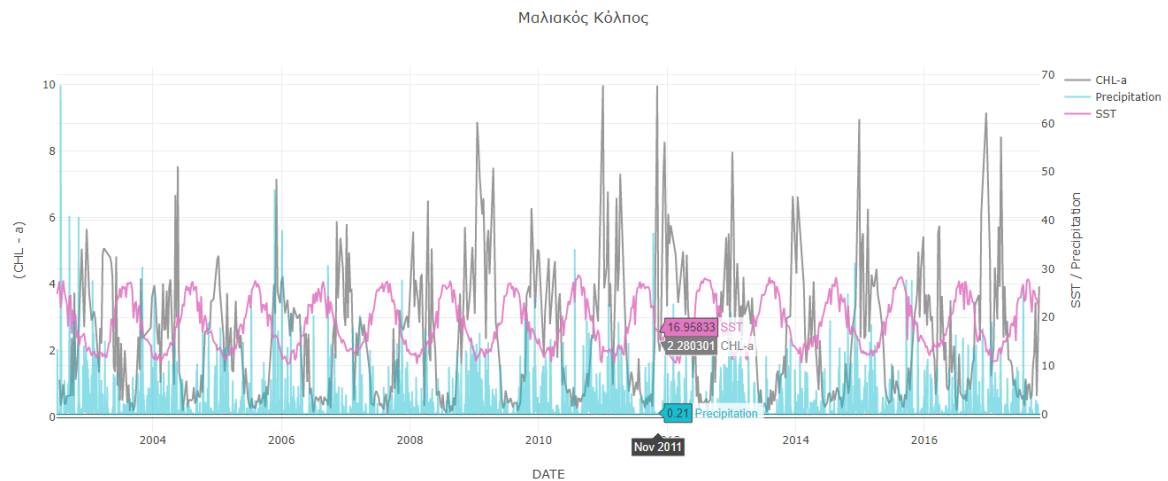
Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα δεδομένα της χλωροφύλλης που εξάχθηκαν μέσω της διαδικασίας που αναλύθηκε στην ενότητα 4.3., είχαν αρκετές ελλείψεις κυρίως λόγω της ύπαρξης σύννεφων κατά τη λήψη της δορυφορικών εικόνων. Έπειτα, με βάση τα διαγράμματα διασποράς και αρχικά μοντέλα, αποφασίστηκε ποια σημεία μπορούν να ενωθούν και να γενικευθεί η χρονοσειρά για την ευρύτερη περιοχή και ποια πρέπει να αντιμετωπιστούν αυτόνομα. Ο διαχωρισμός αυτός έγινε με βάση ποιοτικά χαρακτηριστικά της περιοχής (π.χ. ύπαρξη ρευμάτων, εκβολές ποταμών κ.α.) αλλά και βάσει της συσχέτισης των τιμών.

Στη συνέχεια, έγινε αναγωγή των δεδομένων από ημερήσια σε εβδομαδιαία εξάγοντας τους αντίστοιχους μέσους όρους. Η εντολή `Seasonal_decompose()` δεν λειτουργεί όταν υπάρχουν κενά στα δεδομένα με αποτέλεσμα να πρέπει να καλυφθούν αυτά που είτε προϋπήρχαν είτε προέκυψαν λόγω των παραδοχών που έγιναν κατά την επεξεργασία των δεδομένων. Έτσι, επιλέχθηκε οι «κενές» εβδομάδες να καλύπτονται υπολογίζοντας μέσο όρο μεταξύ των τιμών της προηγούμενης και της επόμενης εβδομάδας.

Ακολούθησε, ο πρώτος υπολογισμός των συνιστωσών του αθροιστικού μοντέλου των χρονοσειρών, δηλαδή της τάσης ( $T_t$ ), της εποχικότητας ( $S_t$ ) και της τυχαίας συνιστώσας ( $I_t$ ). Επιλέχθηκε, να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα για τα οποία η τυχαία συνιστώσα ( $I_t$ ) έπαιρνε τιμές μεταξύ του -5 και του 5, και κατ' επέκταση αφαιρέθηκαν από το σύνολο των δεδομένων οι τιμές που δεν αντιστοιχούσαν σε αυτό το εύρος.



Με την παραπάνω διαδικασία, προέκυψαν τα τελικά δεδομένα, διορθωμένα από ένα μεγάλο ποσοστό σφαλμάτων, και έγινε ο τελικός υπολογισμών των συνιστωσών του αθροιστικού μοντέλου των χρονοσειρών της χλωροφύλλης-α και της επιφανειακής θερμοκρασίας των υδάτων για όλες τις περιοχές.



Εικόνα 19 Παράδειγμα συγκριτικού διαγράμματος βροχοπτώσεων, chl-a, sst

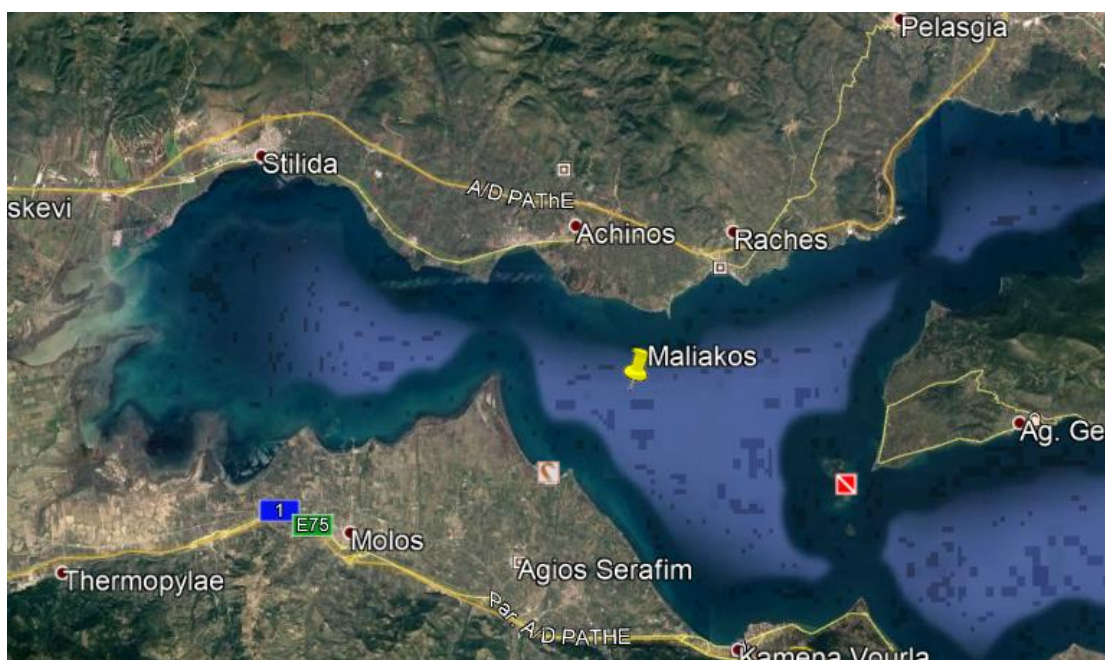
Ταυτόχρονα, δημιουργήθηκαν διαδραστικά συγκεντρωτικά διαγράμματα (Εικόνα 19) ανά περιοχή στα οποία εμφανίζονται οι τιμές της χλωροφύλλης (Chl-a), της θερμοκρασίας (SST) και των κατακρημνίσεων (Precipitation) ώστε εξακριβωθούν οι σχέσεις που τα συνδέουν. Οι διαδραστικές χρονοσειρές κατασκευάστηκαν μέσω ενός script, το οποίο εφαρμόζει στα δεδομένα τις παραδοχές που περιγράφηκαν παραπάνω, και αποθηκεύτηκαν σε αρχεία «.html».

## 5. Αποτελέσματα και Ανάλυση

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των χρονοσειρών που προέκυψαν εφαρμόζοντας τους παραπάνω κανόνες. Επιλέχθηκε να παρουσιαστούν 5 χαρακτηριστικές περιπτώσεις περιοχών, οι οποίες εμφάνισαν μεγάλο ενδιαφέρον είτε λόγω αποτελεσμάτων είτε λόγω φυσικών χαρακτηριστικών.

Αρχικά, επιλέχθηκε η περιοχή του Μαλιακού λόγω του μικρού μεγέθους και των εκβολών του Σπερχειού ποταμού σε αυτόν. Η περιοχή που σχηματίζεται ο Αντικυκλώνας της Ιεράπετρας, επιλέχθηκε σαν ένα παράδειγμα ανοιχτής θάλασσας με σημαντικές επιδράσεις της θαλάσσιας κυκλοφορίας. Έπειτα, αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον Κόλπο της Αντίκυρας. Αυτός ο μικρός κόλπος του Κορινθιακού, πλήττεται από την απόρριψη ρυπαντικών ουσιών του εργοστασίου αλουμινίου που βρίσκεται στις ακτές του, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ακολουθεί ο Σαρωνικός Κόλπος, ο οποίος λόγω της θέσης του αλλά και των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα στις ακτές και τα νερά του, αναδείχθηκε σαν περιοχή ενδιαφέροντος. Τέλος, διερευνάται η κατάσταση που επικρατεί στον Κόλπο της Αλεξανδρουπόλης, ως δείγμα ανοιχτής θάλασσας, με επιδράσεις τόσο θαλάσσιων ρευμάτων όσο και των εκβολών του ποταμού Έβρου.

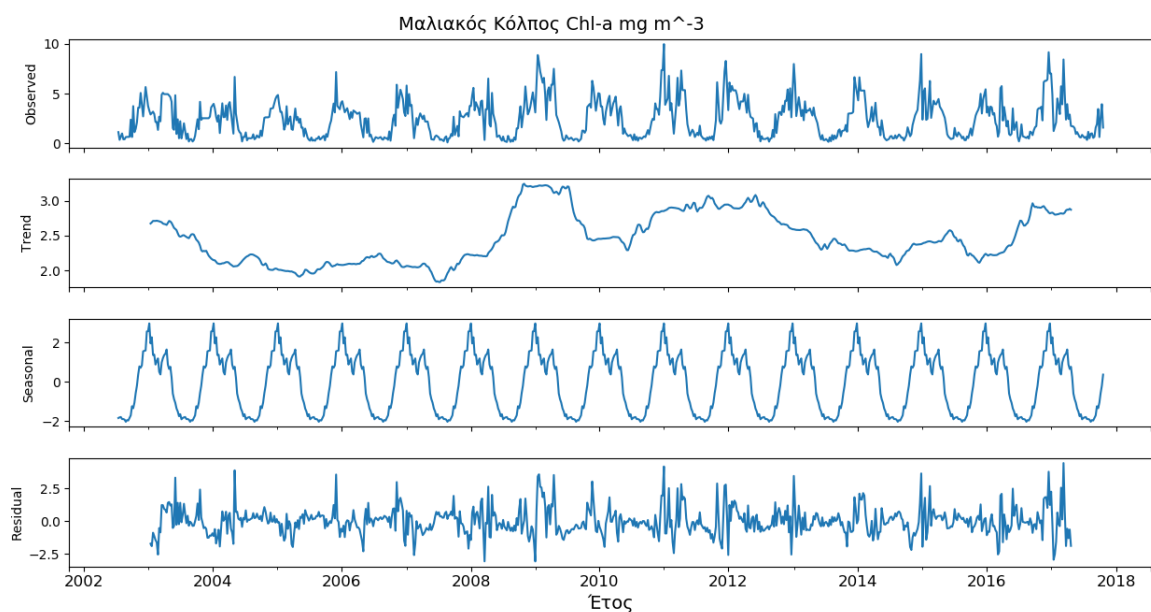
### 5.1. Μαλιακός Κόλπος



Εικόνα 20: Η θέση του σημείου στο Μαλιακό Κόλπο

Η περίπτωση του Μαλιακού Κόλπου έχει πολλές ιδιαιτερότητες αφού αποτελεί έναν ημί-κλειστό, ρηχό κόλπο όπου εκβάλλει ο Σπερχειός ποταμός και ταυτόχρονα πλήττεται έντονα από ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως η γεωργία, η κτηνοτροφία και η βιομηχανία [30]. Σε αυτό το σημείο, σημειώνεται πως λόγω της θέσης και του μεγέθους του Μαλιακού Κόλπου εξάχθηκαν οι τιμές της χλωροφύλλης και της θερμοκρασίας από ένα σημείο (Εικόνα 20) το οποίο βρίσκεται στον εξωτερικό Μαλιακό Κόλπο. Πρέπει να αναφερθεί ακόμα, πως το ιδιαίτερο σχήμα του, δημιούργησε δυσκολία στις μετρήσεις του δορυφόρου, με αποτέλεσμα τα δεδομένα, ιδιαίτερα της χλωροφύλλης-α, να έχουν μεγάλα χρονικά κενά.

#### (α) Χλωροφύλλη-α

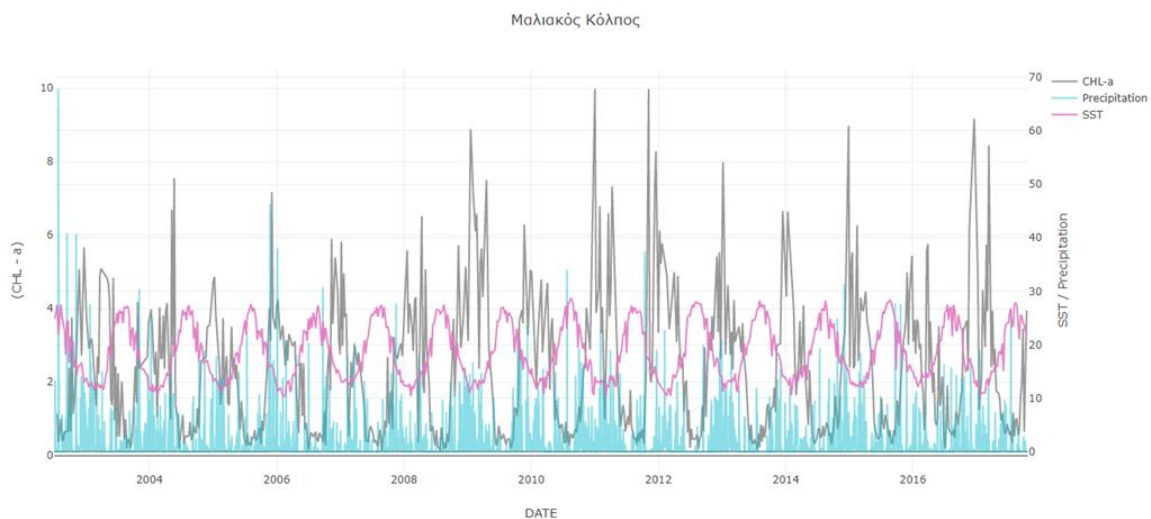


Εικόνα 21: Ανάλυση χρονοσειράς chl-a στο Μαλιακό Κόλπο

Όσον αφορά τη χλωροφύλλη-α, οι υψηλότερες τιμές στην διάρκεια των 15 χρόνων εμφανίζονται το χειμώνα και το Ιανουάριο του 2011 ( $9.98 \text{ mg m}^{-3}$ ) και τον Νοέμβριο το ίδιου έτους ( $9.97 \text{ mg m}^{-3}$ ). Επιπλέον, παρατηρείται μία ξαφνική αύξηση το 2009 η οποία σταθεροποιείται από το 2011 και μετά. Όπως ήταν αναμενόμενο, οι υψηλότερες τιμές χλωροφύλλης ανά έτος παρατηρούνται κατά τους χειμερινούς μήνες και οι χαμηλότερες κατά τους θερινούς. Τον χειμώνα αυξάνεται η απορροή του Σπερχειού στον κόλπο, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών που ευνοούν την αύξηση του φυτοπλαγκτού και κατ' επέκταση της χλωροφύλλης-α.

Όπως φαίνεται και από το συγκριτικό διάγραμμα βροχοπτώσεων και χλωροφύλλης (Εικόνα 22), κατά την περίοδο του χειμώνα, με τις πιο έντονες βροχοπτώσεις, η συγκέντρωση της χλωροφύλλης αυξάνεται. Η εποχιακή διακύμανση της χλωροφύλλης δείχνει σημαντική άνοδο και κατά την εαρινή περίοδο (Μάρτιο, Απρίλιο), γεγονός που συμπίπτει με την εαρινή άνθηση του

φυτοπλαγκτού. Η εαρινή άνθηση του φυτοπλαγκτού συνδέεται με τους μεγάλους όγκους νερού που καταλήγουν στον κόλπο από τις λειάνες απορροής των ποταμών και των ρεμάτων συμπαρασύροντας σημαντικές ποσότητες θρεπτικών συστατικών, προερχόμενες βασικά από φυσικές, αλλά και ανθρωπογενείς διεργασίες (λίπανση αγρών, αστικά λύματα κ.α.). Έντονες – συχνές βροχοπτώσεις ευνοούν την απόθεση θρεπτικών συστατικών από τα ποτάμια στη θάλασσα με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των φυκών. Αυτό συμβαίνει γιατί το νερό της απορροής ποταμών δύναται να περιέχει ιχνοστοιχεία (όπως σίδηρο), τα οποία αποτελούν τροφή για τους φυτικούς οργανισμούς [19].



Εικόνα 22: Συγκριτικό διάγραμμα του Μαλιακού Κόλπου

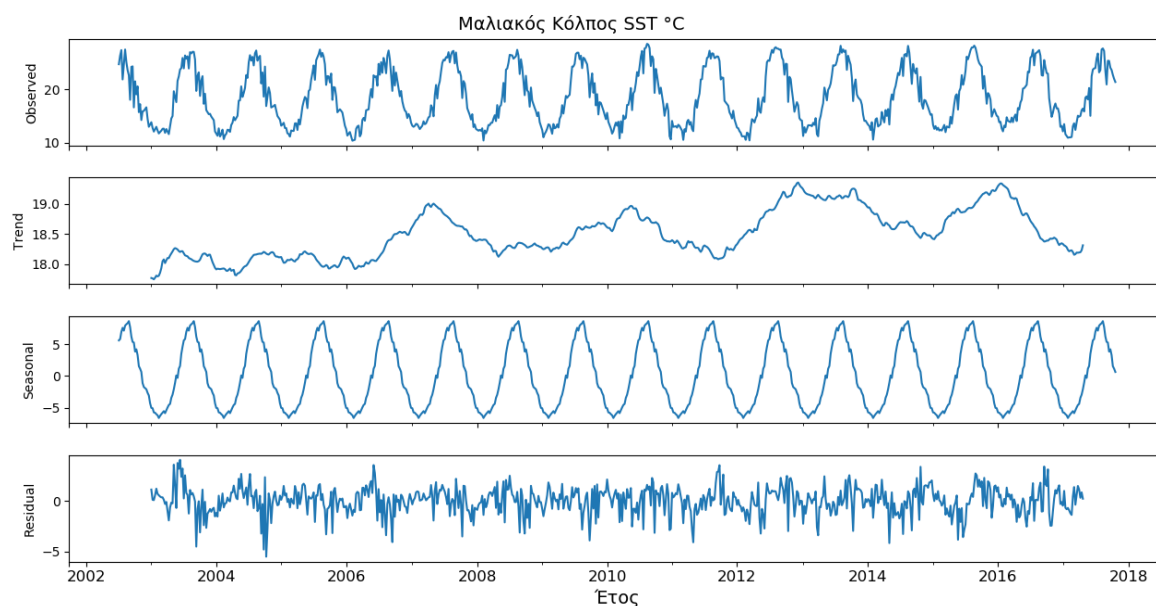
Σε γενικές γραμμές, τα επίπεδα της χλωροφύλλης-α υπερβαίνουν τα ολιγοτροφικά όρια που χαρακτηρίζουν την Ανατολική Μεσόγειο. Συγκρίνοντας όμως με τις συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης-α σε άλλες περιοχές που υπάρχουν Δέλτα ποταμών, παρατηρείται πως βρίσκονται σε αντίστοιχα επίπεδα με αυτά του Μαλιακού [17].

Αξίζει ακόμα να αναφερθεί πως, σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποίησε το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε, το 2009 παρατηρήθηκαν στο Μαλιακό μαζικοί θάνατοι τόσο εκτρεφόμενων (τσιπούρρα, λαβράκι) όσο και ελεύθερων (κέφαλος, λυθρίνι) ιχθύων, που προκλήθηκαν από την υπέρμετρη αύξηση της αφθονίας του ιχθυοτοξικού ραδιοφύκου *Chatonella* [16], γεγονός που μπορεί να συνδεθεί και με την απότομη αύξηση του φυτοπλαγκτού που παρατηρείται στη περιοχή την ίδια χρονιά.

Σημειώνεται ακόμα, πως στην διάρκεια των 15 ετών που μελετάται, παρατηρείται πολύ συχνά μία, μη αναμενόμενη, αύξηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α κατά την περίοδο του φθινοπώρου. Το φαινόμενο αυτό, δείχνει την σημασία της επίδρασης των εισροών θρεπτικών

στοιχείων, από τα οικιακά και τα βιομηχανικά λύματα που εισέρχονται στον Μαλιακό Κόλπο [16].

### (β) Θερμοκρασία



Εικόνα 23: Ανάλυση χρονοσειράς SST στο Μαλιακό Κόλπο

Η επιφανειακή θερμοκρασία των υδάτων κυμαίνεται από 12 °C έως 28 °C, με τις χαμηλότερες τιμές να εμφανίζονται κατά τους χειμερινούς μήνες και τις υψηλότερες κατά τους θερινούς. Η μεγαλύτερη τιμή θερμοκρασίας στη διάρκεια των 15 ετών παρατηρείται τη 2<sup>η</sup> εβδομάδα του Αυγούστου του 2010 (28.65 °C). Συνολικά, το θερμότερο έτος φαίνεται να είναι το 2012 με μέση τιμή θερμοκρασίας υδάτων του έτους να είναι 20.99 °C, ενώ το ψυχρότερο αποτελεί το 2005 με την αντίστοιχη τιμή στους 19.36 °C.

Από το συγκριτικό διάγραμμα κατακρημνίσεων και θερμοκρασίας (Εικόνα 22), είναι προφανές πως η συσχέτιση μεταξύ των δύο είναι αρνητική, γεγονός αναμενόμενο αφού με τις βροχοπτώσεις αυξάνεται η απορροή των ποταμών και ρεμάτων στον κόλπο με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμοκρασία του νερού.

Στο αθροιστικό μοντέλο της χρονοσειράς φαίνεται, ακόμα, πως η τάση είναι σχετικά σταθερή μέχρι το 2006 ενώ μετά γίνεται ελαφρώς ανοδική. Αυτό, μπορεί να σχετίζεται με την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων και κατ' επέκταση με την κλιματική αλλαγή.

Η σχέση που συνδέει τη χλωροφύλλης-α και τη θερμοκρασία είναι, επίσης, αντίθετη. Από τα μοτίβα των συνιστωσών της εποχικότητας των δύο φαινομένων, παρατηρείται πως μεταξύ της



υψηλότερης τιμής χλωροφύλλης και της χαμηλότερης θερμοκρασίας μεσολαβεί ένα χρονικό διάστημα δύο μηνών, δηλαδή από το Δεκέμβριο μέχρι το Φεβρουάριο.

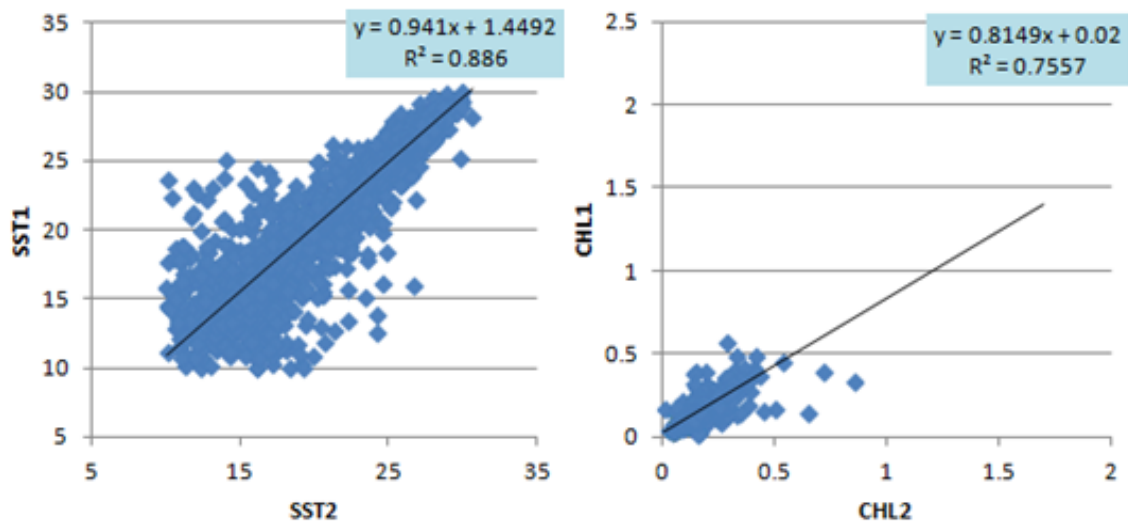
## 5.2. Αντικυκλώνας Ιεράπετρας



Εικόνα 24 Οι θέσεις των σημείων στον Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας

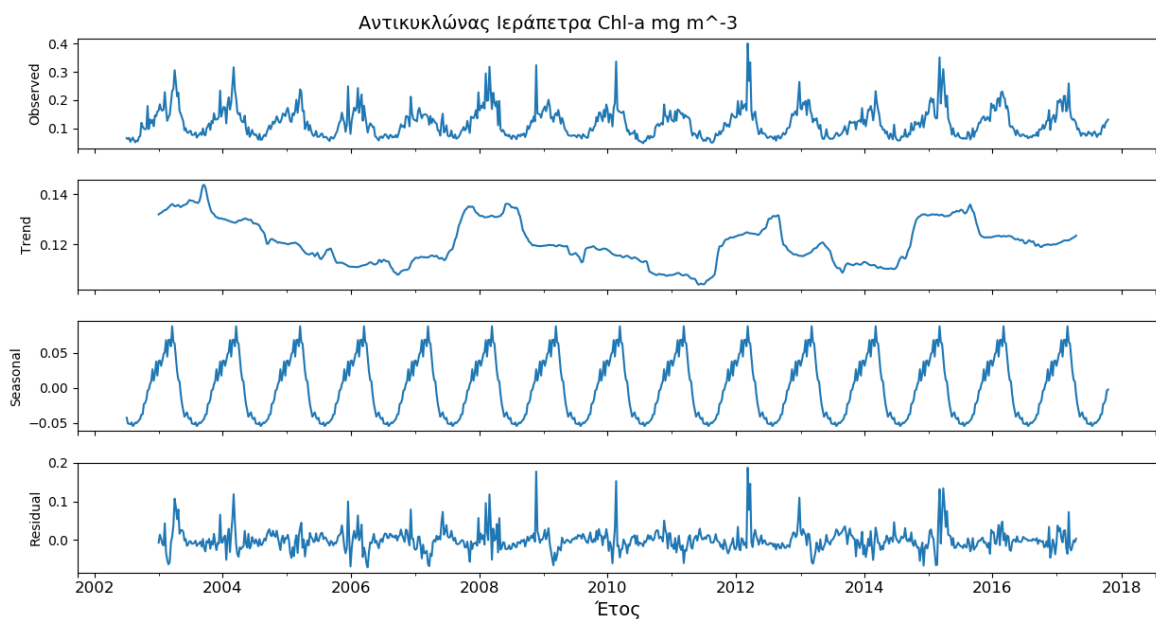
Ο αντικυκλώνας της Ιεράπετρας, με το χαρακτηριστικό, σχεδόν απόλυτα κυκλικό, σχήμα του και το θερμό πυρήνα, εμφανίζει περιόδους έξαρσης και πλήρης «ανυπαρξίας». Η μακροχρόνια παρακολούθηση των φαινομένων όπως αυτό της Ιεράπετρας επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση της κυκλοφορίας των ωκεανών και των παραλλαγών της. Συνεχίζοντας τη μοντελοποίηση και τις παρατηρήσεις, τόσο επί τόπου όσο και από το διάστημα, θα γνωρίζουμε καλύτερα τις παραλλαγές σε μεγάλες χρονικές περιόδους [55].

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, εξάχθηκαν οι τιμές της χλωροφύλλης-α και τη επιφανειακής θερμοκρασίας από 2 σημεία του αντικυκλώνα. Οι μετρήσεις αυτές εμφάνισαν υψηλή συσχέτιση και έτσι επιλέχθηκε να συμπτυχτούν (Εικόνα 25), εξάγοντας τους αντίστοιχους μέσους όρους χλωροφύλλης και θερμοκρασίας.



Εικόνα 25: Διαγράμματα συσχέτισης Chl-a, SST στον Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας

### (α) Χλωροφύλλη-α

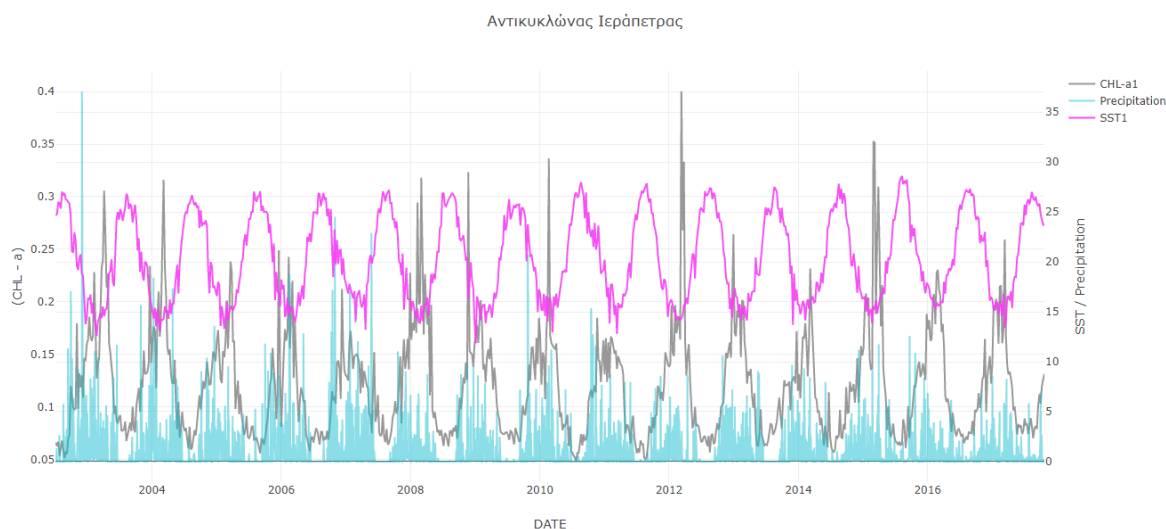


Εικόνα 26: Ανάλυση χρονοσειράς chl-a στον Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας

Το εύρος τιμών της χλωροφύλλης-α στη συγκεκριμένη περιοχή είναι 0.05-0.4 mg m<sup>-3</sup>, γεγονός που καθιστά τα ύδατα oligotroφικά. Η υψηλότερη τιμή παρατηρείται το Μάρτιο του 2012 και η χαμηλότερη τον Ιούλιο του 2010. Στο διάγραμμα της τάσης, αποτυπώνεται πως, για το χρονικό διάστημα πολύ μελετάται, τα επίπεδα της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α παραμένουν σταθερά, χωρίς να υπάρχει δηλαδή ούτε ανοδική ούτε πτωτική τάση.

Στο διάγραμμα της εποχικότητας φαίνεται ότι σημειώνεται άνοδος στο τέλος του χειμώνα με τις μεγαλύτερες τιμές στην αρχή της άνοιξης. Η ανοδική φορά της εποχικότητας ξεκινά περίπου το Σεπτέμβριο, με κορύφωση στα τέλη Φεβρουαρίου, ενώ η καθοδική τον Απρίλιο.

Όπως ήταν αναμενόμενο, η ανοδική φορά της εποχικότητας, έρχεται λίγο μετά την έναρξη των κατακρημνίσεων (Εικόνα 27) κάθε έτους. Ταυτόχρονα, διακύμανση της χλωροφύλλης-α στη διάρκεια ενός έτους έχει αρνητική συσχέτιση με την επιφανειακή θερμοκρασία του νερού.

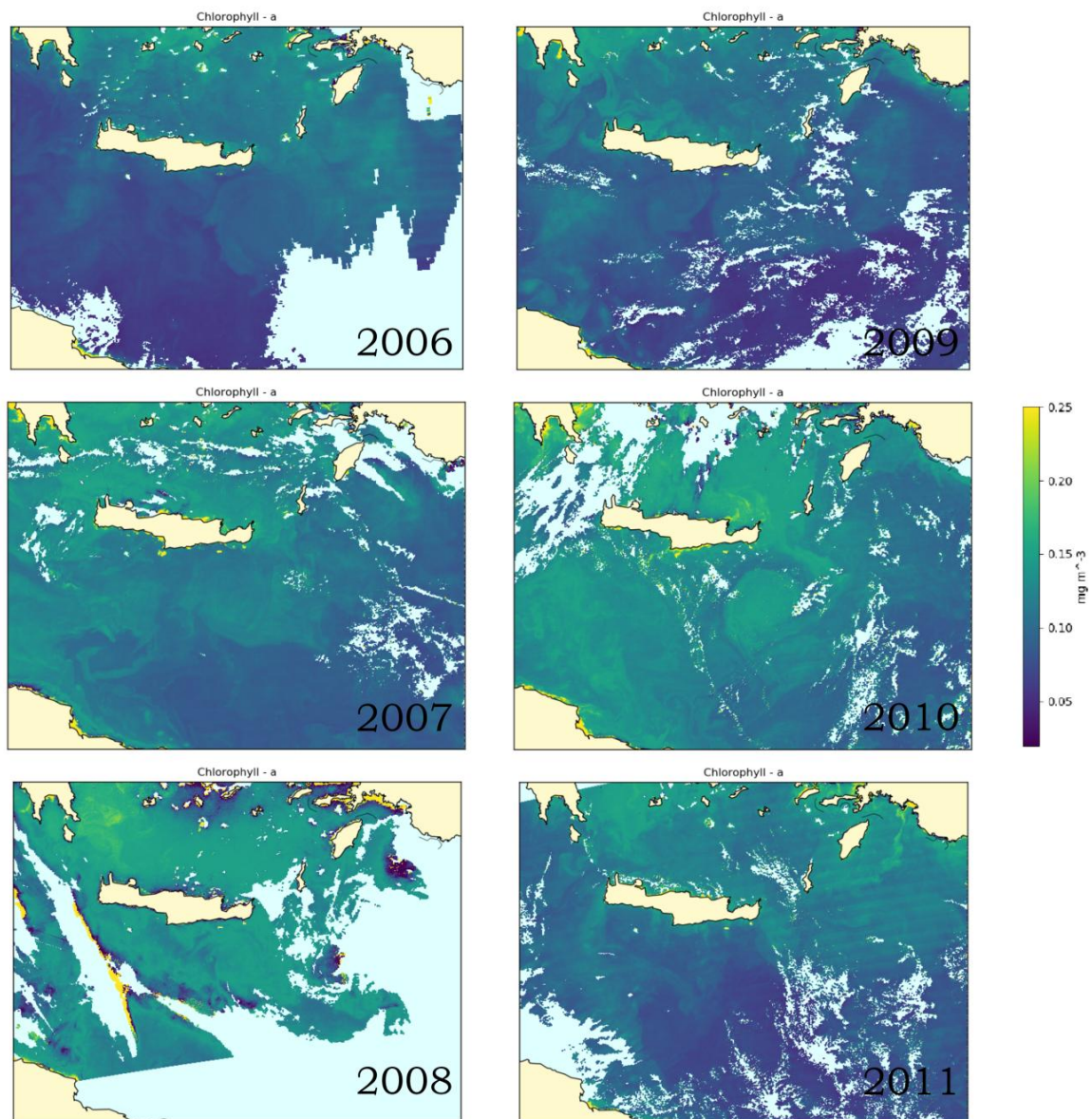


Εικόνα 27: Συγκριτικό διάγραμμα Chl-a και SST του Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας

Δημιουργήθηκαν, επιπλέον, οι χάρτες (Εικόνα 28) της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α στον αντικυκλώνα κατά την περίοδο του φθινοπώρου, για τα έτη 2006-2011. Ο αντικυκλώνας, ιδιαίτερα όταν είναι σε έξαρση (2006, 2010), εμφανίζει υψηλότερες τιμές χλωροφύλλης-α στον πυρήνα του χωρίς όμως να ξεπερνά τα oligοτροφικά επίπεδα. Παρόλα αυτά, στις περιόδους έξαρσης του είναι εύκολα διακριτός, συγκριτικά με τα γειτονικά ύδατα. Επιπλέον, από τους χάρτες των δορυφορικών εικόνων, φαίνεται πως τα επίπεδα της χλωροφύλλης στην περιοχή του αντικυκλώνα είναι ελαφρώς υψηλότερα από χρόνο σε χρόνο.

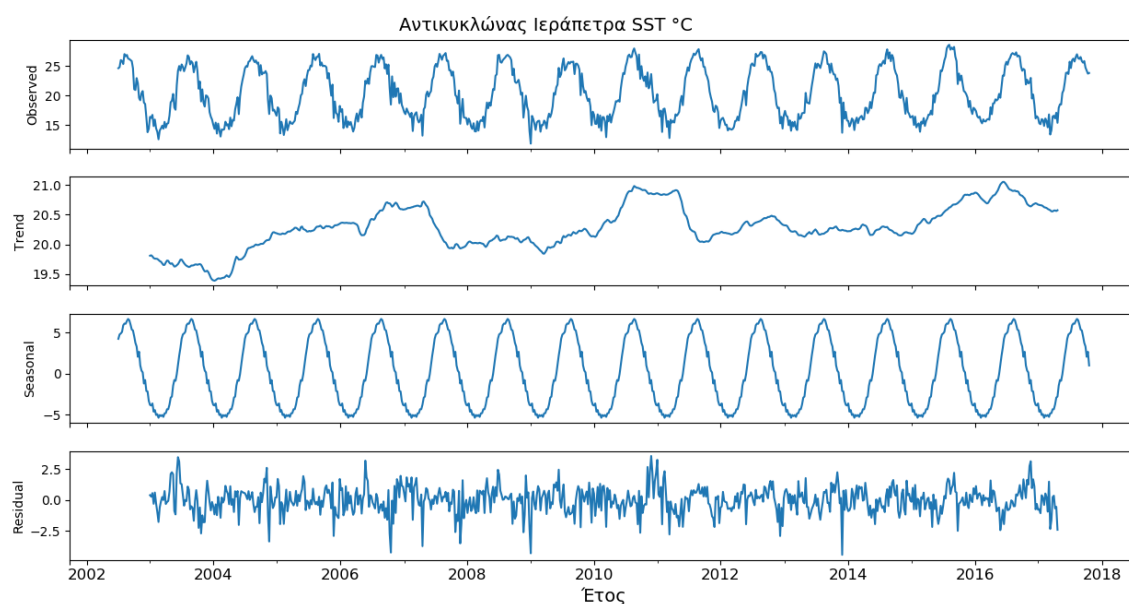


## ΙΟΥΝΙΟΣ 2006-2011



Εικόνα 28: Διαχρονικές μεταβολές (2006-2011) Chl-a στον Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας

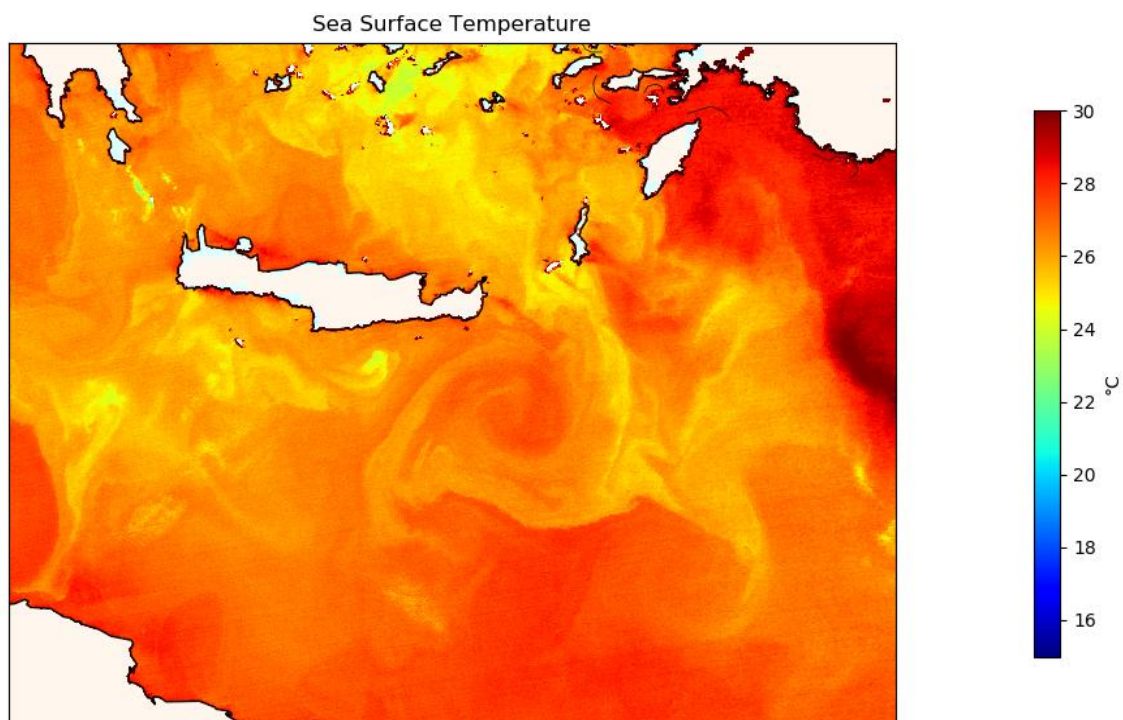
## (β) Θερμοκρασία



Εικόνα 29: Ανάλυση χρονοσειράς SST στον Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας

Η επιφανειακή θερμοκρασία των υδάτων στην περιοχή του Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας κυμαίνεται από 12 °C έως 28 °C. Τα θερμότερα έτη αποτελούν το 2010 και το 2016 με μέση τιμή της θερμοκρασίας να είναι 21.45 °C.

Η τάση της θερμοκρασίας φαίνεται να είναι σταθερά ανοδική, ενώ το 2010 παρατηρείται μία απότομη άνοδος της τάσης και η αντίστοιχη πτώση στις αρχές του 2012. Το μοτίβο αυτό συμπίπτει με την περίοδο πλήρης έξαρσης και στη συνέχεια ύφεσης του αντικυκλώνα ή οποία έλαβε χώρα τότε [22]. Στο διάγραμμα της τάσης, περί τα μέσα του 2006, εμφανίζεται το ίδιο μοτίβο, σε μικρότερη κλίμακα. Ανατρέχοντας στις αντίστοιχες δορυφορικές εικόνες εξακριβώθηκε πως και εκείνη τη χρονική περίοδο ο Αντικυκλώνας της Ιεράπετρας βρισκόταν πάλι σε έξαρση (Εικόνα 30). Επομένως, τέτοια μοτίβα θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για τον εντοπισμό του σχηματισμού στις περιόδους έξαρσης και ύφεσης του.

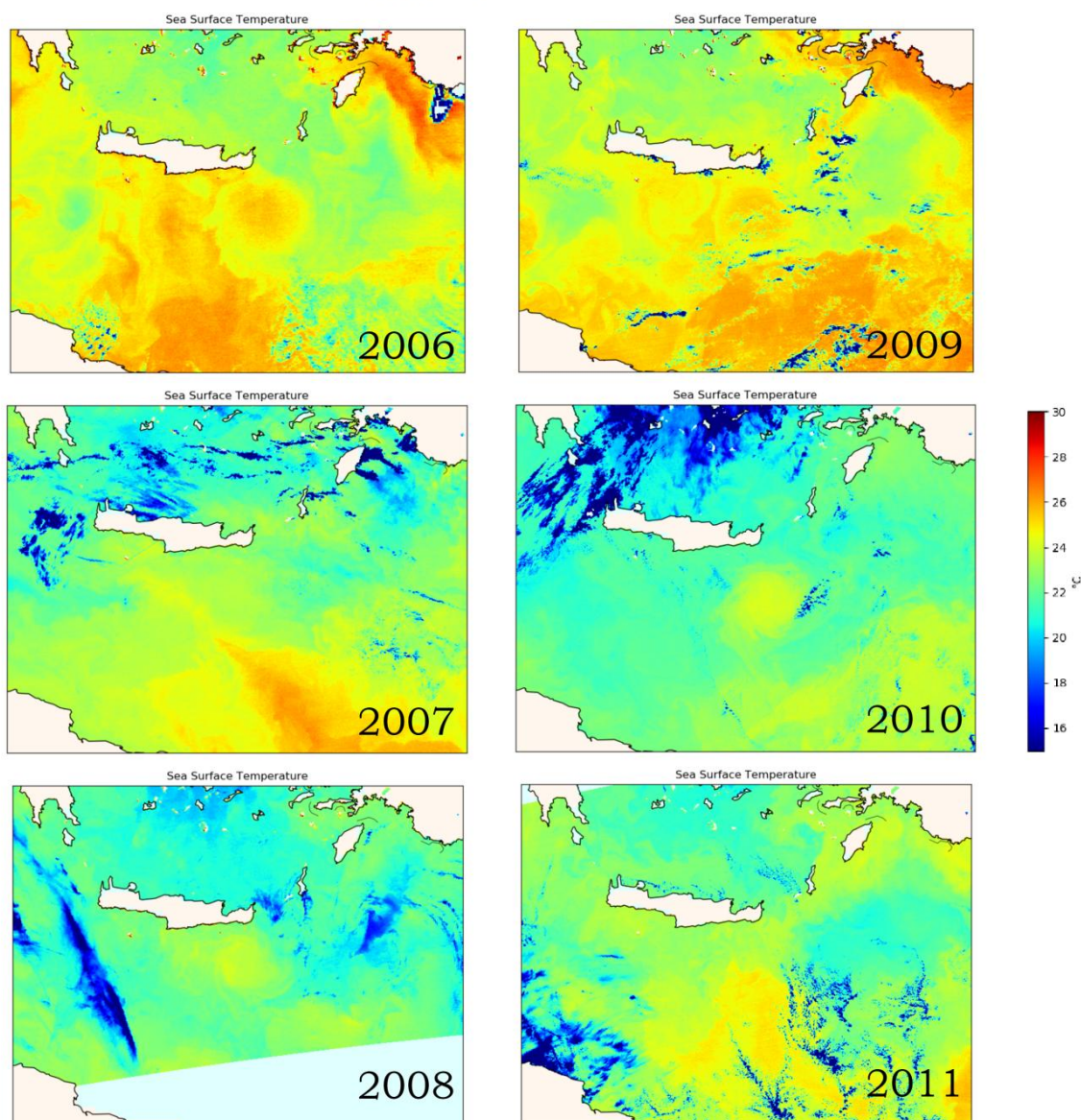


Εικόνα 30: : Ο Αντικυκλώνας της Ιεράπετρας στις 26/8/2006

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι χάρτες (Εικόνα 31) που δημιουργήθηκαν από τις δορυφορικές εικόνες του MODIS για τα έτη 2006 έως 2011. Οι χάρτες αναφέρονται στην περίοδο του φθινοπώρου, όπου η έξαρση του Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας παρατηρείται πιο έντονα για τα έτη 2006 και 2010, ενώ λιγότερο διακριτός φαίνεται να είναι τα έτη 2009 και 2008.



## ΙΟΥΝΙΟΣ 2006-2011



Εικόνα 31: Διαχρονική διακύμανση (2006-2011) της SST στον Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας

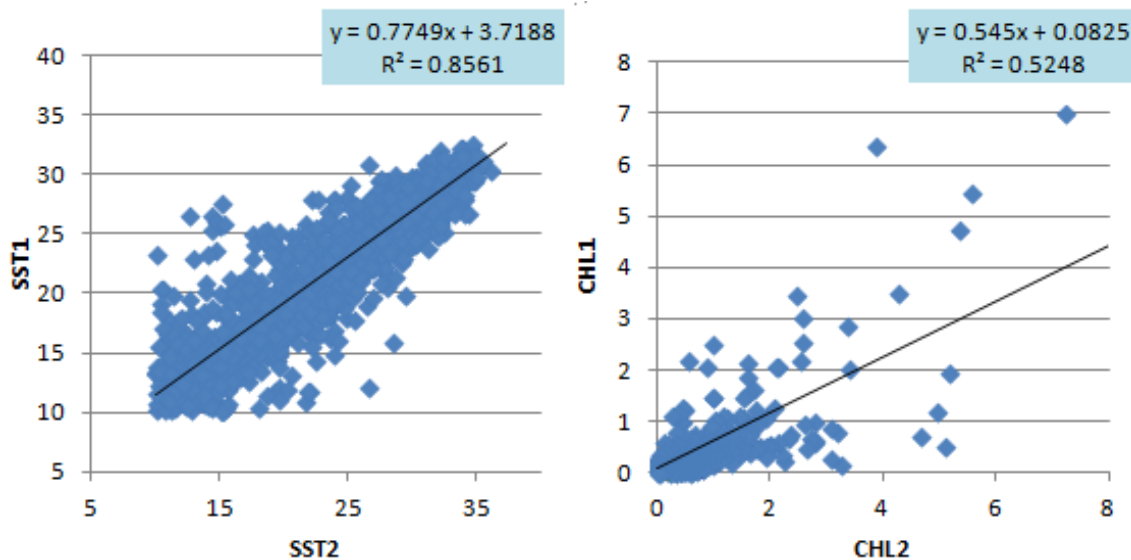
### 5.3. Κόλπος Αντίκυρας

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο Κόλπος της Αντίκυρας βρίσκεται στη βόρεια ακτή του Κορινθιακού Κόλπου. Η ύπαρξη του εργοστασίου αλουμινίου στις ακτές του κόλπου, και κατ' επέκταση η μακροχρόνια εναπόθεση ρυπαντικών ουσιών σε αυτόν, αποτέλεσαν το κίνητρο για να μελετηθεί η ποιότητα των υδάτων της συγκεκριμένης περιοχής.



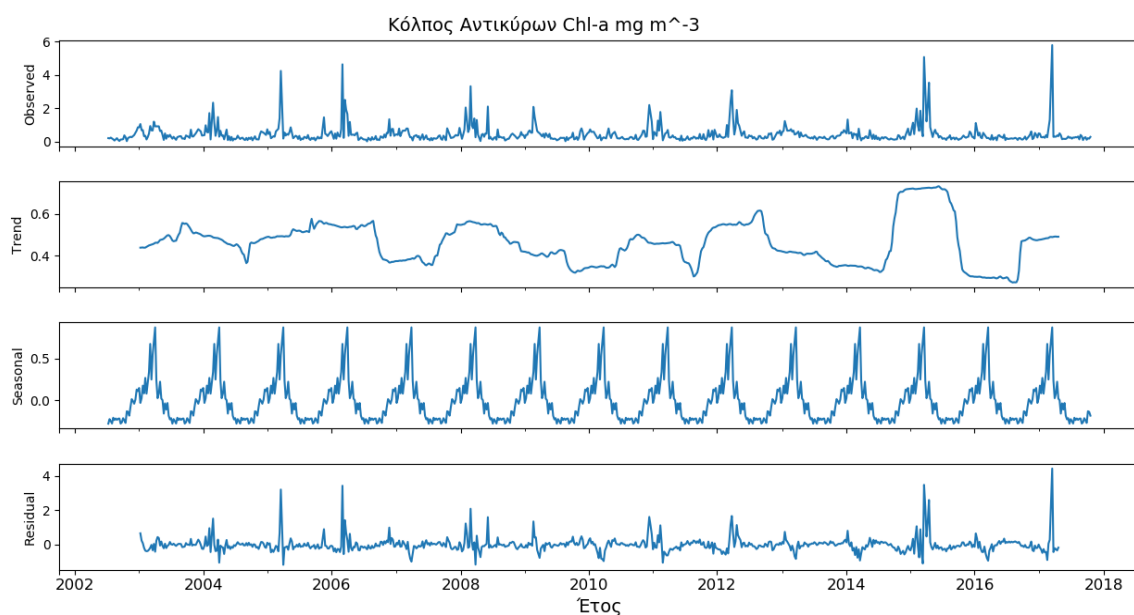
Εικόνα 32: Οι θέσεις των σημείων στον Κόλπο της Αντίκυρας

Η εξαγωγή των τιμών της χλωροφύλλης-α και της θερμοκρασίας έγινε από 2 διαφορετικά σημεία του κόλπου, κατασκευάστηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα διασπορά (Εικόνα 33) και επιλέχθηκε να ενωθούν τα δεδομένα εξάγοντας τους αντίστοιχους μέσους όρους χλωροφύλλης και θερμοκρασίας. Σημειώνεται, πως στην περίπτωση του Κόλπου της Αντίκυρας, ήταν αναγκαία η σύμπτυξη των μετρήσεων και λόγω του μεγέθους της περιοχής αφού υπήρχαν σημαντικές ελλείψεις, αλλά και περιπτώσεις υπερεκτίμησης, κυρίως στα δεδομένα για τη χλωροφύλλη-α.



Εικόνα 33: Συσχετίσεις Chl-a, SST στον Κόλπο της Αντίκυρας

### (α) Χλωροφύλλη-α

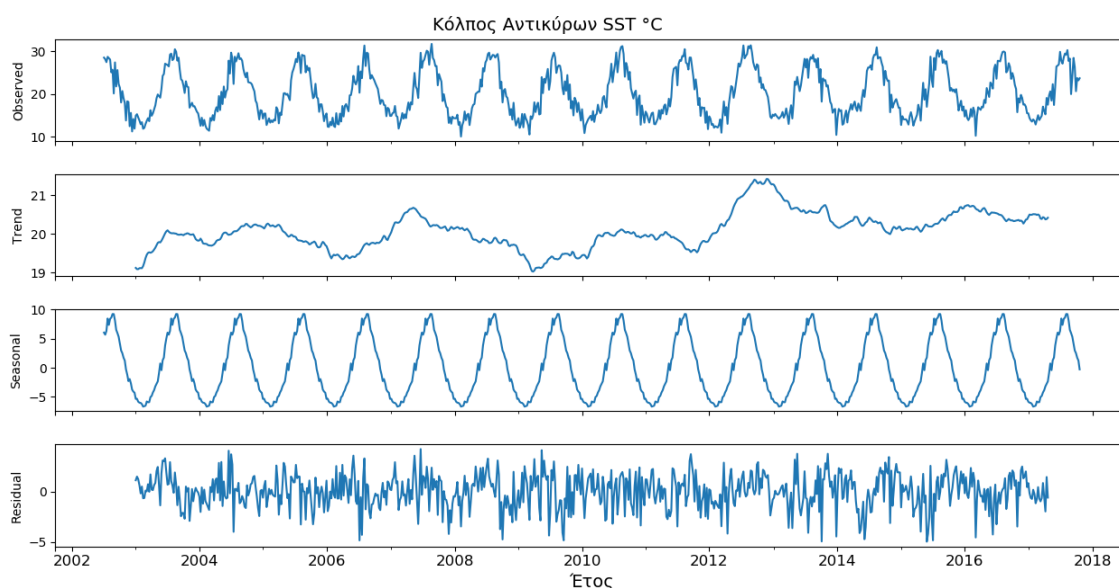


Εικόνα 34: Ανάλυση χρονοσειράς Chl-a στον Κόλπο της Αντίκυρας

Αρχικά, στην περίπτωση αυτή, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο αριθμός των παρατηρήσεων στη διάρκεια των 15 χρόνων είναι πολύ μικρός, αφού τα δεδομένα ανά ημέρα κάλυπταν το 30% της χρονική περιόδου ενώ μετά την αναγωγή τους σε εβδομαδιαία κάλυπταν σχεδόν το 85% της χρονικής περιόδου. Το γεγονός αυτό, υποδηλώνει ότι πολλές από τις εβδομαδιαίες παρατηρήσεις αποτελούν στην πραγματικότητα την μία μοναδική παρατήρηση της εβδομάδας. Έτσι γίνεται, κατανοητό η εξαγωγή συμπερασμάτων δεν πρέπει να βασιστεί τόσο στις απόλυτες τιμές που φαίνεται να παίρνει η χλωροφύλλη στην περιοχή, πάρα μόνο στη γενικότερη τάση και εποχικότητα, που παρατηρείται στο χρονικό διάστημα που μελετάται.

Τα επίπεδα της χλωροφύλλης-α στον Κόλπο της Αντίκυρας κατά κύριο λόγο κυμαίνονται από 0.1 έως 2  $\text{mg m}^{-3}$ . Ωστόσο, τόσο από τη χρονοσειρά των παρατηρήσεων όσο και από το διάγραμμα της εποχικότητας φαίνεται να επαναλαμβάνονται υψηλότερες τιμές κατά της περίοδο της άνοιξης, υποδεικνύοντας έτσι τον εποχικό κύκλο που ακολουθεί η χλωροφύλλη στην περιοχή. Συγκεκριμένα, η ανοδική φορά της εποχικότητας ξεκινά περίπου στα μέσα Ιανουαρίου, κορυφώνεται στα μέσα Μαρτίου και στα τέλη Ιουλίου με αρχές Αυγούστου φτάνει στα κατώτερα επίπεδα του έτους. Το διάγραμμα της συνιστώσας της τάσης της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α, δείχνει μία σταθερή σχετικά στην διάρκεια των 15 ετών.

## (β) Θερμοκρασία



Εικόνα 35: Ανάλυση χρονοσειράς SST στον Κόλπο της Αντίκυρας

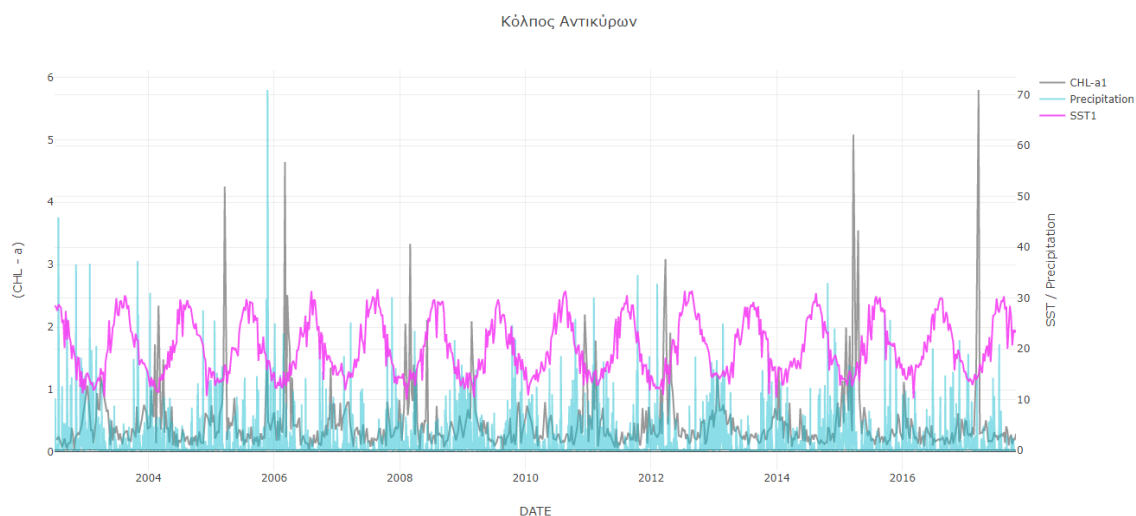
Στην περίπτωση της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων στον Κόλπο της Αντίκυρας, η εξαγωγή συμπερασμάτων καθίσταται πιο εύκολη αφού τα αρχικά δεδομένα ήταν περισσότερα από αυτά της χλωροφύλλης. Συγκεκριμένα, αρχικά κάλυπταν το 52% του συνολικού χρονικού διαστήματος και μετά την αναγωγή τους σε επίπεδο εβδομάδας έφτασαν το 97%.

Το εύρος τιμών των εβδομαδιαίων παρατηρήσεων της θερμοκρασίας φαίνεται να είναι 12° C με 30° C, με τις χαμηλότερες τιμές να παρατηρούνται τον Ιανουάριο και τις υψηλότερες στα τα τέλη Ιουλίου με αρχές Αυγούστου κάθε έτους. Το θερμότερο έτος της 15ετίας φαίνεται να είναι το 2012 με μέση τιμή 22.4° C, ενώ η αντίστοιχη χαμηλότερη τιμή είναι 20.7° C τα έτη 2006 και 2009.

Το διάγραμμα της τάσης που προέκυψε από το αθροιστικό μοντέλο, δείχνει μία σταθερά ανοδική τάση της θερμοκρασίας, ιδιαίτερα από το 2010 και μετά. Η σταδιακή αλλά σταθερή άνοδος αυτή, σχετίζεται με την συστηματική απόρριψη ρυπαντικών ουσιών στον κόλπο της Αντίκυρας, γεγονός που μπορεί να επιφέρει σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα αλλά και με άλλους παράγοντες όπως η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας της θάλασσας, λόγω κλιματικής αλλαγής.

Για να διερευνηθεί περαιτέρω η άνοδος της θερμοκρασίας, δημιουργήθηκαν οι παρακάτω χάρτες από τις δορυφορικές εικόνες του MODIS για τα έτη 2010 έως 2017(Εικόνα 37). Επιλέχθηκε ο μήνας Ιούλιος και συγκεκριμένα η τελευταία βδομάδα του, αφού παρατηρήθηκε, από το

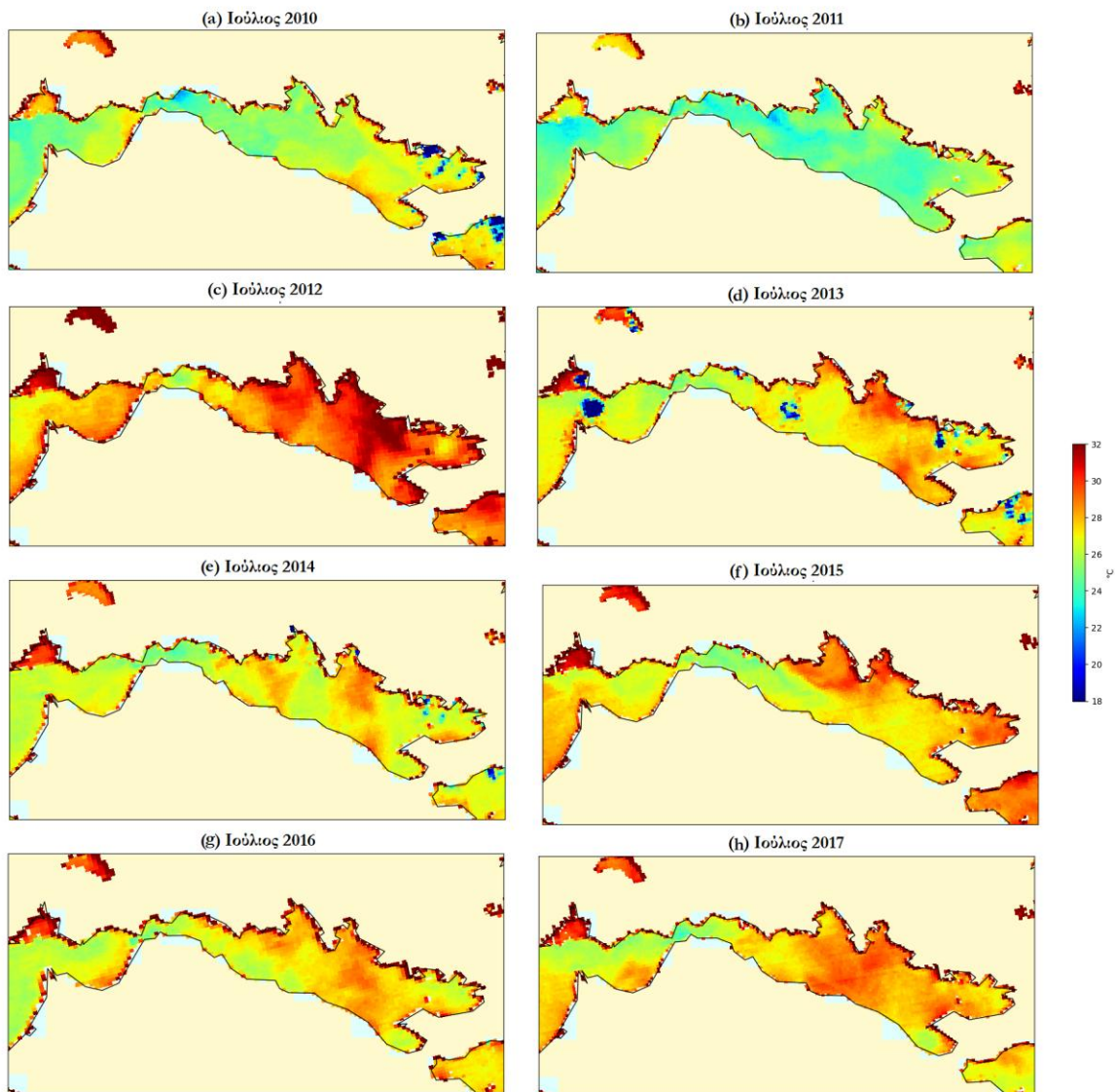
διαδραστικό διάγραμμα (Εικόνα 36), εκείνη την εβδομάδα εμφανιζόντουσαν οι υψηλότερες τιμές του έτους.



Εικόνα 36: Συγκριτικό διάγραμμα Chl-a, SST του Κόλπου της Αντίκυρας

Στους χάρτες αυτούς παρατηρείται, πως το 2011, η συγκεκριμένη εβδομάδα, εμφάνισε αρκετά χαμηλότερη θερμοκρασία από τα υπόλοιπα έτη. Ο χειμώνας 2011-2012, ήταν ο μόνος ψυχρός χειμώνας της πενταετίας 2007-2012 σύμφωνα με τον Χ. Καμπεζίδη (2013), Διευθυντή Ερευνών Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Αντιθέτως, το 2012, που έχει χαρακτηριστεί ως ένα από τα θερμότερα έτη του 21<sup>ου</sup> από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO) των Ηνωμένων Εθνών, παρουσιάζει τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο αυξημένη θερμοκρασία νερού κατά περίπου 5° C. Συνολικά, τόσο στον Κόλπο της Αντίκυρας όσο και στον Κορινθιακό ευρύτερα, η επιφανειακή θερμοκρασία των θαλασσών φαίνεται να έχει ανοδική πορεία στην διάρκεια των 7 ετών που παρουσιάζονται στους χάρτες, γεγονός που υποδεικνύεται και από το διάγραμμα της τάσης στο αθροιστικό μοντέλο της χρονοσειράς.





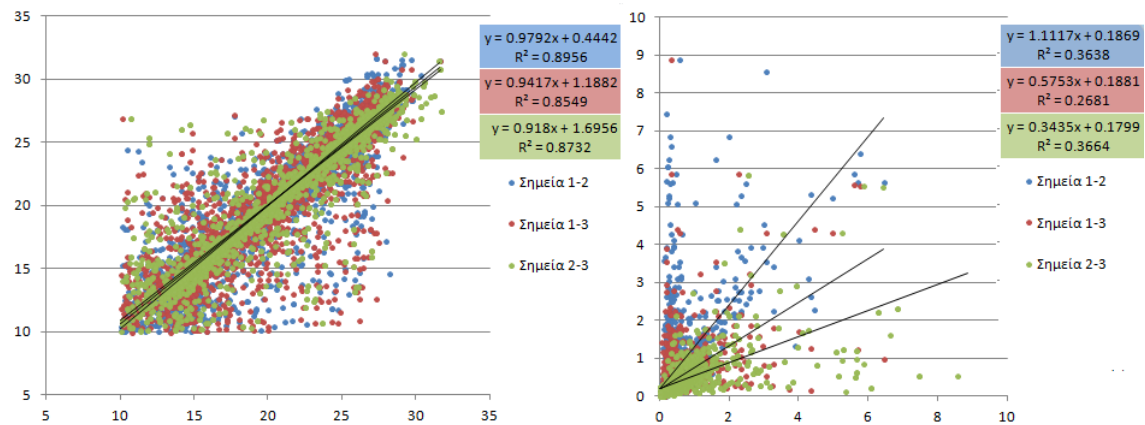
Εικόνα 37: Διαχρονική διακύμανση (2010-2017) SST το μήνα Ιούλιο στον Κορινθιακό Κόλπο

#### 5.4. Σαρωνικός Κόλπος



Εικόνα 38: Οι θέσεις των σημείων στον Σαρωνικό Κόλπο

Από όλες τις θαλάσσιες περιοχές της Ελλάδας, ο Σαρωνικός κόλπος είναι εκείνος για τον οποίο υπάρχουν τα περισσότερα ωκεανογραφικά δεδομένα. Η συστηματική παρακολούθηση του, ώστε να μελετηθεί η ρύπανση του, έχει ξεκινήσει από τη δεκαετία του '70. Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι διάφορες πηγές ρύπανσης του Σαρωνικού (βιομηχανίες, τουριστικές, δραστηριότητες, λιμάνι Πειραιά κ.α.), έχουν προκαλέσει σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση. Κομβικό σημείο στην αντιμετώπιση της ρύπανσης στην περιοχή είναι η εγκατάσταση του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων της Αθήνας στην Ψυτάλλεια (ΚΕΛΨ).

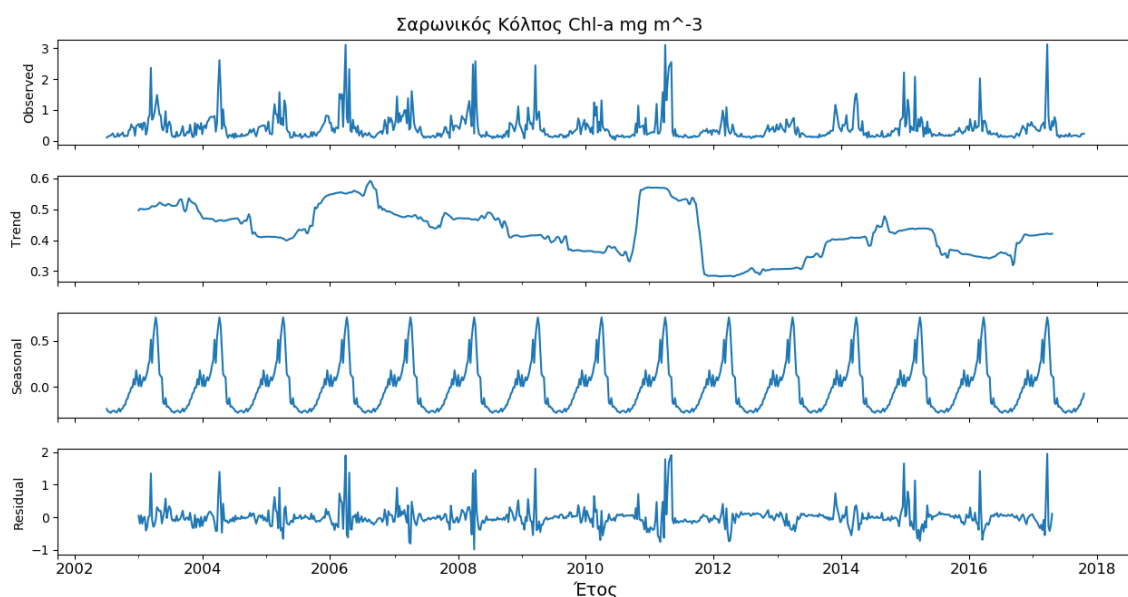


Εικόνα 39: Διαγράμματα συσχέτισης Chl-a, SST στο Σαρωνικό Κόλπο

Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε να διερευνηθούν οι μεταβολές της θερμοκρασίας των υδάτων και της χλωροφύλλης-α στην περιοχή. Συγκεκριμένα, εξάχθηκαν οι αντίστοιχες τιμές από τα δορυφορικά δεδομένα για τα 3 σημεία στον Εσωτερικό Σαρωνικό, νότια της Ψυτάλλειας, που φαίνονται στην Εικόνα 38.

Έπειτα, από τα διαγράμματα διασποράς (Εικόνα 39), κρίθηκε πως οι συσχετίσεις της χλωροφύλλης και της θερμοκρασίας στα διαφορετικά σημεία ήταν αρκετά μεγάλες ώστε να εξαχθούν οι μέσοι όροι των τριών τιμών ανά ημέρα και να γενικευθούν τα αποτελέσματα για τη βόρεια ακτή του Σαρωνικού Κόλπου. Οι μικρές χαμηλές τιμές της συσχέτισης στη χλωροφύλλη-α ήταν αναμενόμενες αφού είναι πολύ έντονη η επίδραση της κυκλοφορίας των ρευμάτων στον κόλπο. Η συνένωση του, λοιπόν, βασίστηκε στα παρόμοια επίπεδα της τάσης που εντοπίστηκε και στα 3 σημεία.

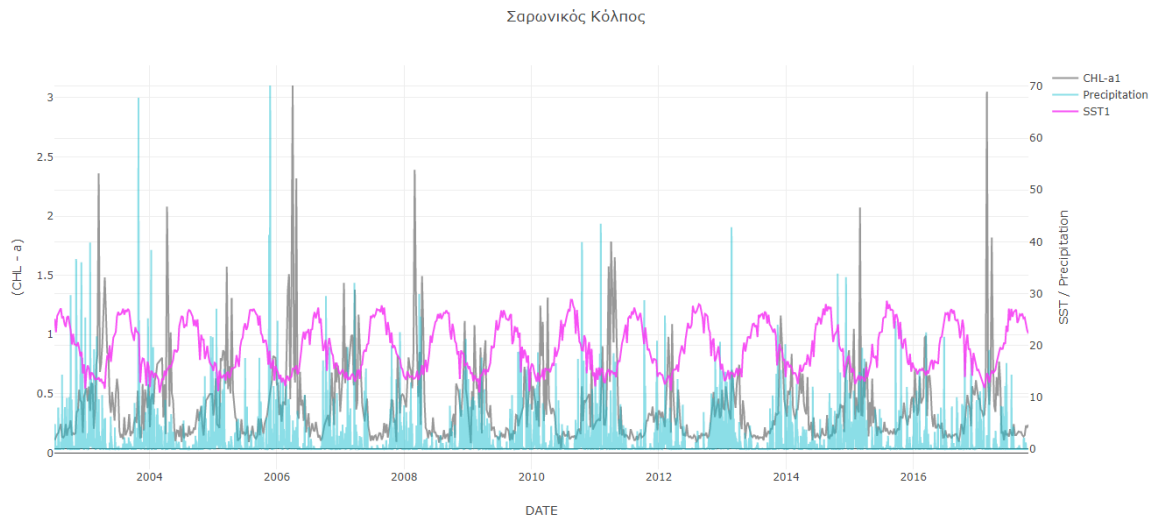
### (α) Χλωροφύλλη-α



Εικόνα 40: Ανάλυση χρονοσειράς Chl-a στον Σαρωνικό Κόλπο

Από το αθροιστικό μοντέλο της χρονοσειράς της χλωροφύλλης-α στο Σαρωνικό, προκύπτει ότι το εύρος τιμών είναι 0.08 έως 3  $\text{mg m}^{-3}$  στο χρονικό διάστημα που μελετάται. Η εποχική κατανομή της χλωροφύλλης-α, στην υπό εξέταση περιοχή, παρουσίασε μεγαλύτερες τιμές κατά την περίοδο της άνοιξης, γεγονός που σηματοδοτεί την φυσιολογική ανοιξιάτικη άνθιση του φυτοπλαγκτού, λόγω του εμπλουτισμού των υδάτων με θρεπτικά στοιχεία [18]. Στον Σαρωνικό φαίνεται να επικρατεί το εποχιακό πρότυπο κατανομής εύκρατων και υποτροπικών περιοχών με μέγιστα να σημειώνονται τον Απρίλιο αλλά και τον Νοέμβριο[19]. Ταυτόχρονα, το Νοέμβριο και τον Δεκέμβριο σημειώνονται και οι περισσότερες βροχοπτώσεις ανά έτος (Εικόνα 41) το οποίο δικαιολογεί την ταυτόχρονη αύξηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α την ίδια περίοδο.

Παρατηρείται, ακόμα, τάση μείωσης των συγκεντρώσεων με το χρόνο ιδιαίτερα από το 2007 και μετά. Σημειώνεται πως το 2007 τέθηκε σε εφαρμογή ο δεύτερος βιολογικός καθαρισμός της Ψυτάλλειας. Επομένως το οικοσύστημα του Σαρωνικού κόλπου, φαίνεται να παρουσιάζει μια βελτίωση σε σχέση με τα έντονα ευτροφικά προβλήματα των προηγούμενων δεκαετιών, ωστόσο δεν εκλείπουν τελείως εκφράσεις αυτών των φαινομένων διαταραχής. Η διαταραχή της εποχιακής εξέλιξης του ευτροφικού συστήματος υποδηλώνεται με τα θερινά μέγιστα, χωρίς να φθάνουν όμως τις υψηλές τιμές που είχαν σημειωθεί πριν τη λειτουργία του αγωγού της Ψυτάλλειας [18].



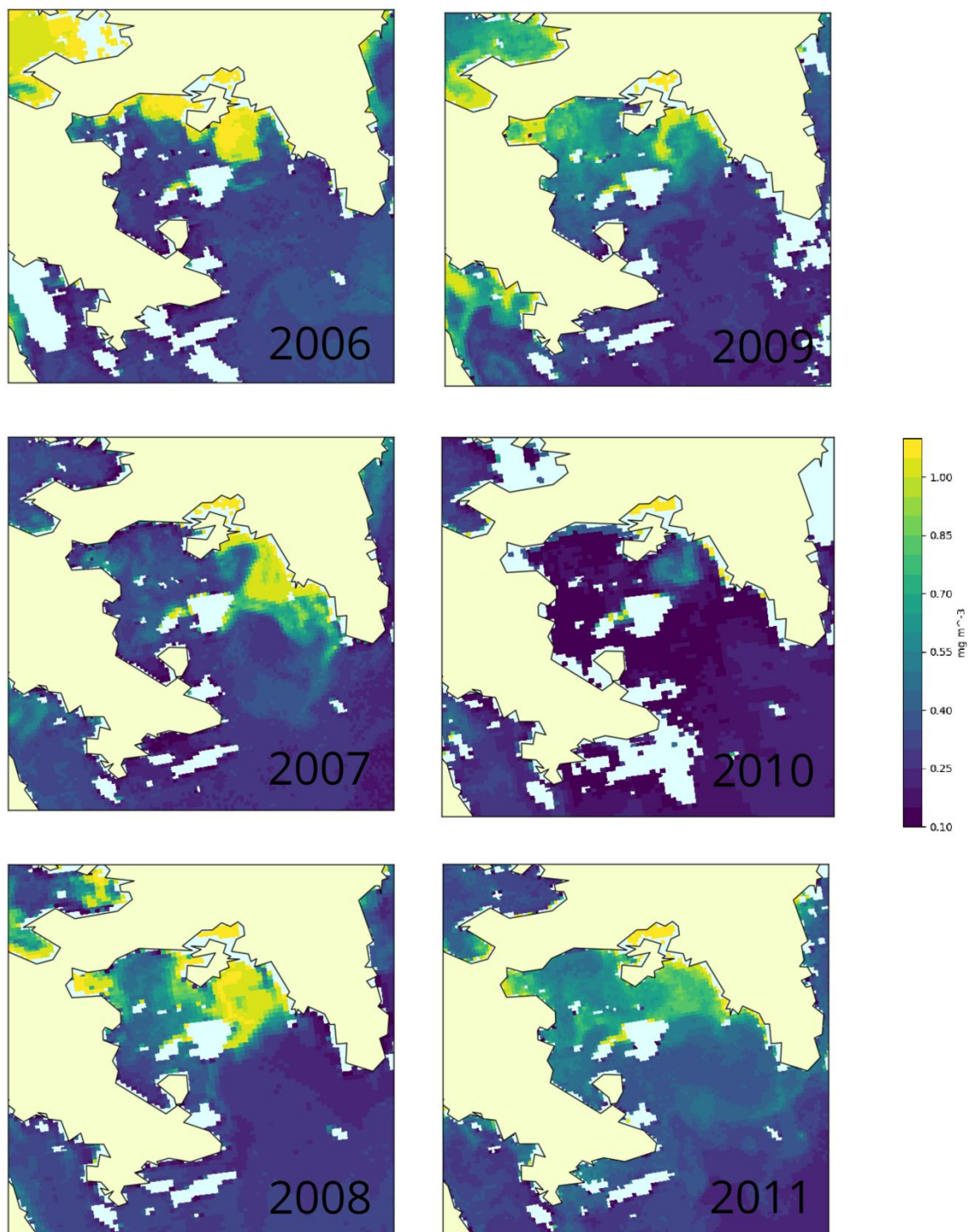
Εικόνα 41: Συγκριτικό διάγραμμα Chl-a, SST του Σαρωνικού Κόλπου

Για να διερευνηθεί η διακύμανση της χλωροφύλλης-α στην περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου μετά την έναρξη του 2<sup>ου</sup> βιολογικού καθαρισμού της Ψυτάλλειας, δημιουργήθηκαν οι χάρτες (Εικόνα 42) που ακολουθούν. Οι χάρτες, των δορυφορικών εικόνων του MODIS, αναφέρονται στην περίοδο της άνοιξης, η οποία όπως αναφέρθηκε και παραπάνω εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές χλωροφύλλης-α κάθε έτους. Σημειώνεται πως από το υπόβαθρο της βιβλιοθήκης matplotlib της Python, λείπουν τα νησιά Αίγινα, Αγκίστρι και άλλα μικρότερα της περιοχής, με αποτέλεσμα να υπάρχει κενό στον τελικό χάρτη, χωρίς όμως να σχετίζεται με την ποιότητα των δορυφορικών εικόνων.

Γενικά, στους χάρτες φαίνεται πως οι περιοχή γύρω από την Ψυτάλλεια και η παράκτια ζώνη του Πειραιά, εμφανίζουν σταθερά υψηλότερες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α σε σχέση με τον υπόλοιπο Σαρωνικό Κόλπο. Ωστόσο από το 2009 και μετά το φαινόμενο αυτό φαίνεται να περιορίζεται σημαντικά τόσο από άποψη συγκέντρωσης όσο και από άποψη έκτασης.

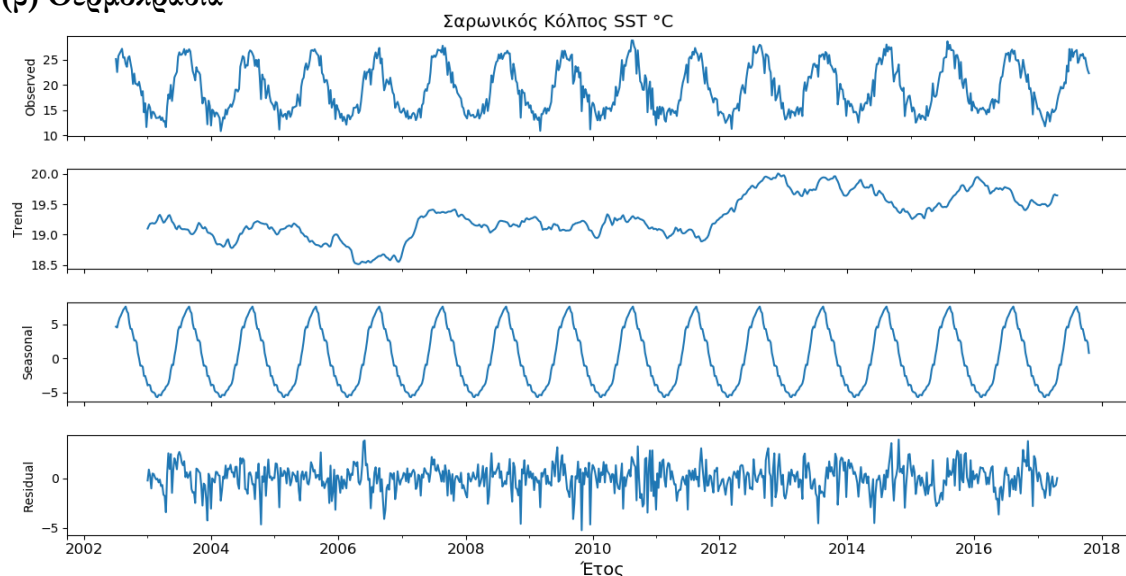


## ΜΑΡΤΙΟΣ 2006-2011



Εικόνα 42: Διαχρονική διακύμανση της chl-a στον Σαρωνικό Κόλπο

## (β) Θερμοκρασία



Εικόνα 43: Ανάλυση χρονοσειράς Chl-a στον Σαρωνικό Κόλπο

Η επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας στην περιοχή μελέτης έχεις εύρος τιμών 10.8-27.8°C, με την μέγιστη τιμή να εμφανίζεται τον Αύγουστο του 2010 και τη ελάχιστη τον Φεβρουάριο του 2004. Η τάση της θερμοκρασίας είναι ανοδική, όπως παρατηρήθηκε και στις υπόλοιπες περιοχές υπό εξέταση, ιδιαίτερα από το 2012 και μετά, το οποίο αποτελεί το θερμότερο έτος της 15ετίας με μέση τιμή θερμοκρασίας 21.2 °C. Όπως ήδη αναφέρθηκε, το 2012 έχει χαρακτηριστεί ως ένα από τα θερμότερα έτη του 21<sup>ου</sup> αιώνα.

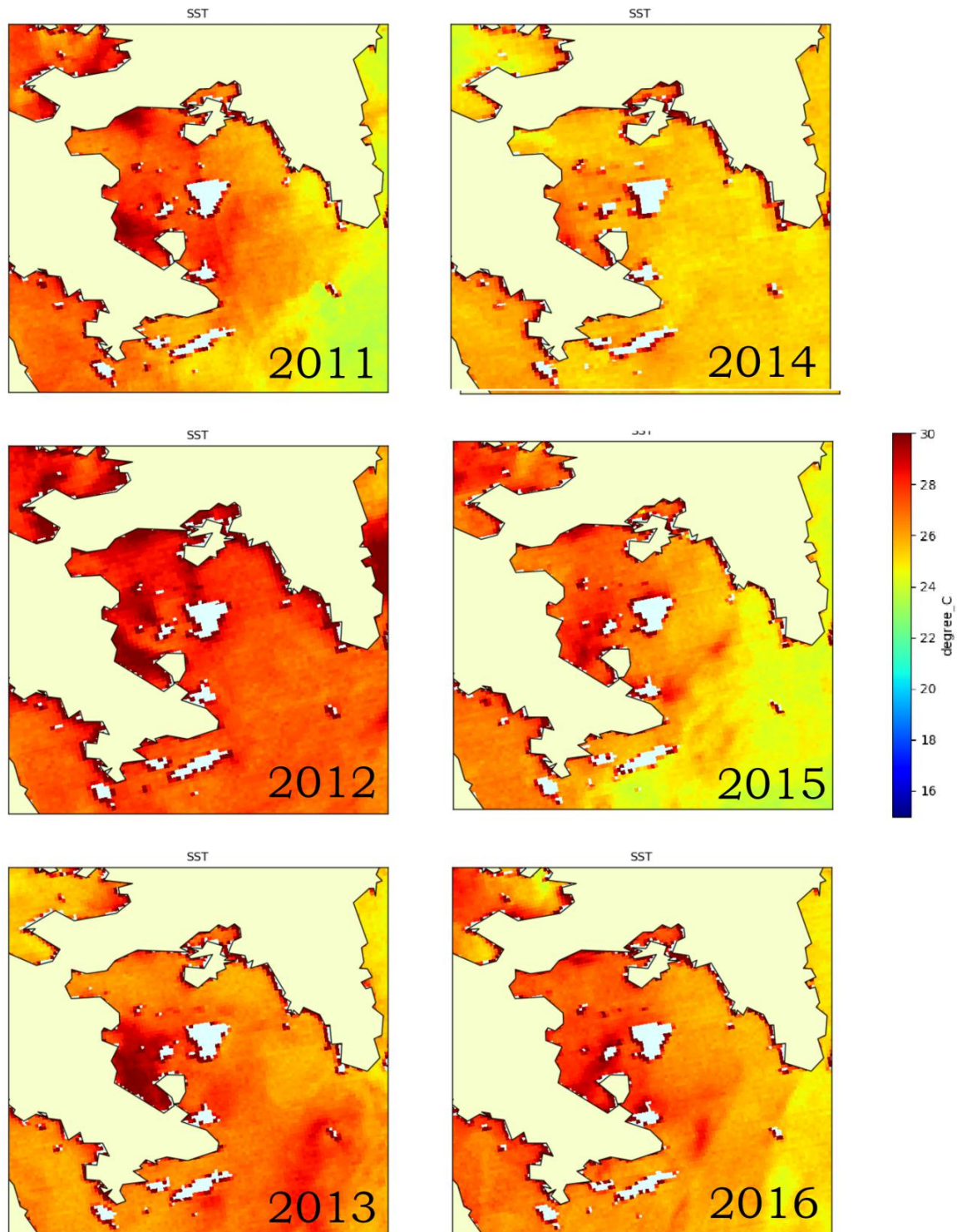
Η αύξηση της θερμοκρασίας από το διάγραμμα της τάσης φαίνεται να είναι της τάξης των 0.8 °C στην πέρασμα των 15 χρονών. Το φαινόμενο αυτό συνδέεται τόσο με την ευρύτερη αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών σε παγκόσμια κλίμακα λόγω κλιματικής αλλαγής, όσο και με τη συνεχή απόρριψη ρυπαντικών ουσιών από τις διάφορες δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στον κόλπο (βιομηχανία, λιμάνι Πειραιά κλπ)

Στο συγκεντρωτικό διάγραμμα (Εικόνα 41) φαίνεται η αντίθετη σχέση που συνδέει την επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας με τις κατακρημνίσεις, αφού όπως ήδη αναφέρθηκε, οι βροχοπτώσεις συντελούν στην μείωση της θερμοκρασίας της θάλασσας.

Με σκοπό να διερευνηθεί η ανοδική τάση της θερμοκρασίας του επιφανειακού νερού στον Σαρωνικό Κόλπο, δημιουργήθηκαν οι χάρτες (Εικόνα 44) που ακολουθούν για τα έτη 2011-2016. Οι χάρτες αναφέρονται στο δεύτερο 15ήμερο του Ιουλίου κάθε έτους, αφού εκείνη την

περίοδο παρουσιάζονται υψηλές τιμές θερμοκρασίες κάθε έτος.

## ΙΟΥΛΙΟΣ 2011-2016



Εικόνα 44: Διαχρονική διακύμανση (2011-2016) SST στον Σαρωνικό Κόλπο

Στους χάρτες αποτυπώνεται η χωρική διακύμανση στον Σαρωνικό Κόλπο κατά τον Ιούλιο κάθε έτους. Αρχικά, παρατηρείται πως στον εσωτερικό τμήμα του κόλπου οι τιμές της θερμοκρασίας είναι υψηλότερες σε σχέση με το εξωτερικό, ενώ αρκετά από τα έτη εντοπίζονται «θερμά



σημείων, κυρίως κοντά στις ακτές. Ο χάρτης του Ιουλίου, επιβεβαιώνει το αποτέλεσμα της ανάλυσης της χρονοσειράς αφού τα νερά είναι εμφανώς θερμότερα σε σχέση με τα υπόλοιπα έτη. Η άνοδος της θερμοκρασίας των επιφανειακών νερών στην βετία που εξετάζεται στους χάρτες φαίνεται να γίνεται αργά και σταδιακά, ενώ γίνεται πιο εύκολα αντιληπτή στον εξωτερικό Σαρωνικό Κόλπο.

### 5.5. Κόλπος Αλεξανδρούπολης – Εκβολές Έβρου

Τα υφαλοκρηπιδικά συστήματα που βρίσκονται υπό την επίδραση ποτάμιων απορροών αποτελούν πολύπλοκα φυσικά συστήματα, λόγω και του ευμετάβλητου χαρακτήρα (ποσοτικά και ποιοτικά) των χερσαίας εισροών νερού και ιζήματος [27]. Το γεγονός αυτό, καθώς και η ανάμειξη των νερών της θάλασσας της Λεβαντίνης και της Μαύρης θάλασσας που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή, την ανέδειξαν ώστε να αναλυθεί περαιτέρω στην παρούσα έρευνα.

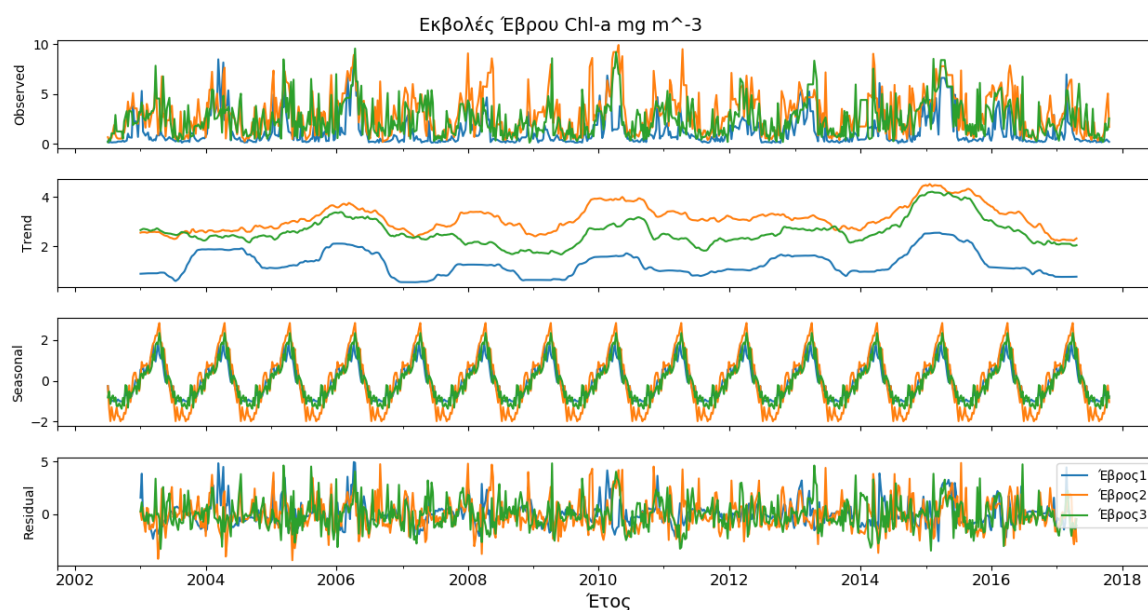


Εικόνα 45: Οι θέσεις των σημείων στον Κόλπο της Αλεξανδρούπολης

Έτσι, επιλέχθηκε να εξαχθούν οι τιμές της χλωροφύλλης-α και της επιφανειακής θερμοκρασία του νερού από 3 σημεία (Εικόνα 45) σχετικά κοντά στις ακτές της Θράκης. Δημιουργώντας το αθροιστικό μοντέλο της χρονοσειράς (Εικόνα 46) των τριών αυτών σημείων για τη χλωροφύλλη και τη θερμοκρασία παρατηρήθηκε ότι ανάλογα με τη θέση τους υπήρχαν διαφοροποιήσεις στη χλωροφύλλη-α, που κατέστησαν αναγκαίο να αντιμετωπιστούν ξεχωριστά και να μην συνενωθούν όπως έγινε στις περιοχές που περιγράφηκαν παραπάνω.



### (α) Χλωροφύλλη-α



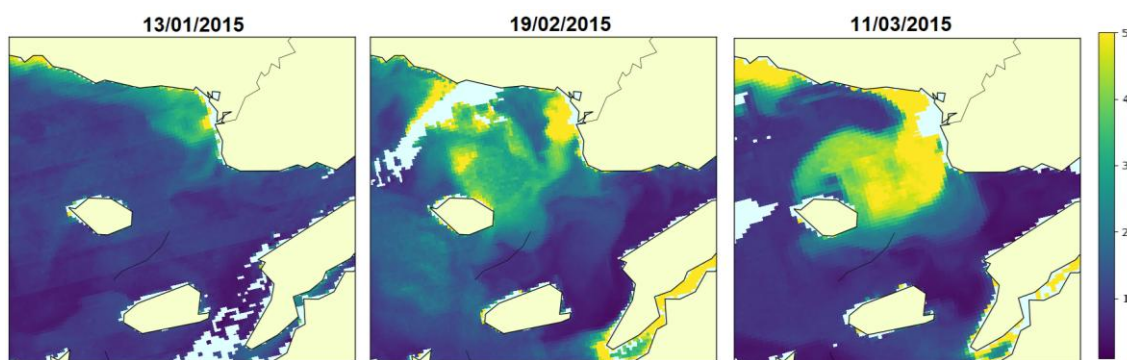
Εικόνα 46: Ανάλυση χρονοσειράς Chl-a στον Κόλπο της Αλεξανδρούπολης

Τα επίπεδα της χλωροφύλλης-α στην περιοχή βρίσκονται σε αρκετά υψηλά επίπεδα, με τη συγκέντρωση της να είναι υψηλότερη στο σημείο 2, και χαμηλότερα στο σημείο 1. Το εύρος τιμών, στην περιοχή συνολικά, όπως διαπιστώνεται από το διαδραστικό διάγραμμα που δημιουργήθηκε  $0.07\text{-}10\text{ mg m}^{-3}$ . Προφανώς, λόγω της μικρής απόστασης των σημείων από την ακτή, ο δορυφόρος υπερεκτιμά τα επίπεδα της χλωροφύλλης με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σφάλματα στα δεδομένα. Έτσι, γίνεται ποιοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και δεν κρίνονται σε απόλυτες τιμές.

Η τάση και στα 3 σημεία φαίνεται να παραμένει σε σχετικά σταθερά επίπεδα. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης-α παρατηρούνται κατά την περίοδο της άνοιξης, που όπως αναφέρθηκε ήδη συμπίπτει με την ανοιξιάτικη άνθηση του φυτοπλαγκτού. Αντίθετα, οι χαμηλότερες παρατηρούνται κατά το τέλος του καλοκαιριού.

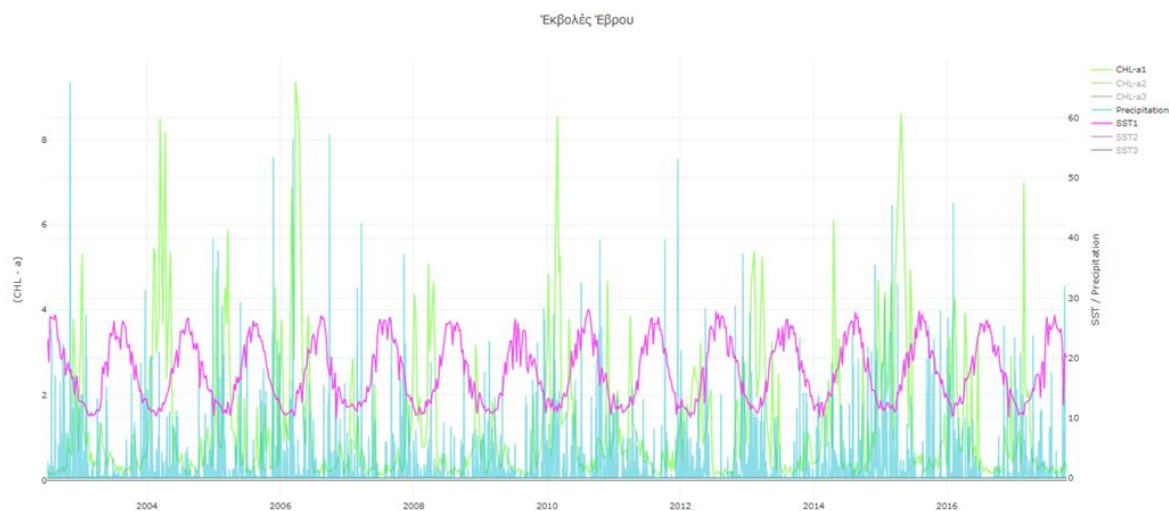
Ανάμεσα στα σημεία 2 και 3 είναι οι εκβολές του Δέλτα του Έβρου, γεγονός που δικαιολογεί τις αυξημένες τιμές που εμφανίζονται στα σημεία αυτά. Ταυτόχρονα, η χλωροφύλλη-α είναι σε χαμηλότερα επίπεδα στο σημείο 1 όπου παρατηρούνται και οι πιο χαμηλές συγκεντρώσεις της περιοχής. Η διαβάθμιση αυτή οφείλεται στο αντικυκλωνικό ρεύμα της Σαμοθράκης που υπάρχει στην περιοχή, το οποίο παρασύρει δεξιόστροφα τα ύδατα που απορρέουν από τον Έβρο, με

αποτέλεσμα να ακολουθείτε και το μοτίβο που αποτυπώνεται στη χρονοσειρά [38].



Εικόνα 47: Επίδραση των ρευμάτων στη χλωροφύλλη-α κατά το πρώτο 3μηνο του 2015 στον Κόλπο της Αλεξανδρούπολης

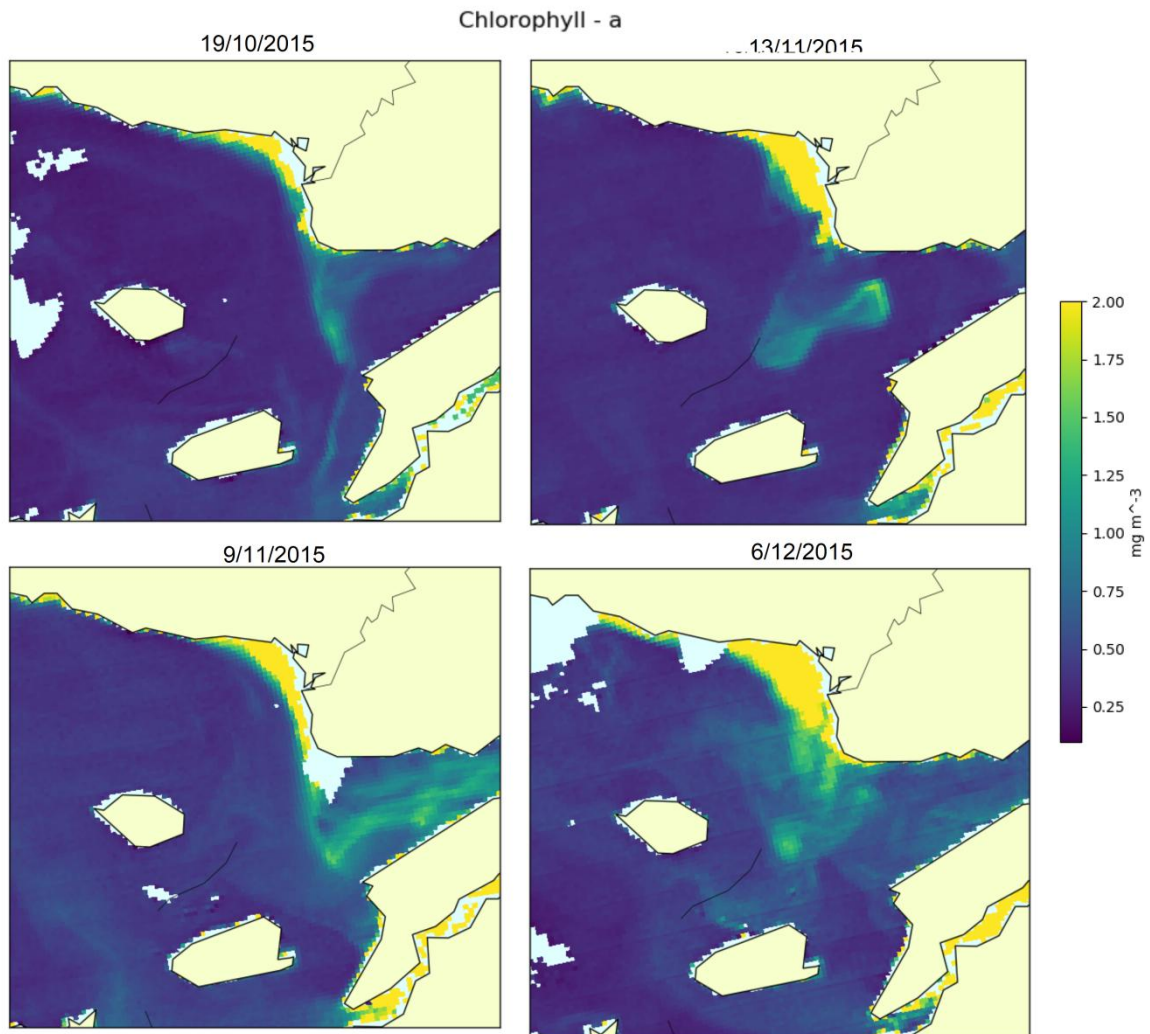
Η επίδραση της κυκλοφορίας του Αντικυκλώνα της Σαμοθράκης, φαίνεται στην Εικόνα 47, όπου παρουσιάζονται οι δορυφορικές εικόνες του MODIS από τους πρώτους 3 μήνες του 2015. Συγκεκριμένα, παρατηρείται πως τα πλούσια νερά σε χλωροφύλλη-α παρασύρονται δεξιόστροφα από τα αντικυκλωνικά ρεύματα. Παρουσιάζεται μεγαλύτερη συγκέντρωση κοντά στις ακτές, δηλαδή εκεί που εκβάλει ο ποταμός Έβρος και σταδιακά μειώνεται όσο αναμειγνύονται τα ύδατα.



Εικόνα 48: Συγκριτικό διάγραμμα Chl-a και SST στον Κόλπο της Αλεξανδρούπολης

Παρατηρώντας το συγκριτικό διάγραμμα (Εικόνα 48) των βροχοπτώσεων με τις τιμές της χλωροφύλλης, και αξιοποιώντας τη διαδραστική λειτουργία του, φαίνεται πως ακολουθούν το ίδιο μοτίβο. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, με τις κατακρημνίσεις αυξάνεται η εισροή φερτών υλικών από τον ποταμό στη θάλασσα και κατ' επένταση αυξάνεται η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α. Ιδιαίτερα στο σημείο 2, τις περιόδους βροχοπτώσεων, η χλωροφύλλη είναι σε πολύ υψηλά επίπεδα.

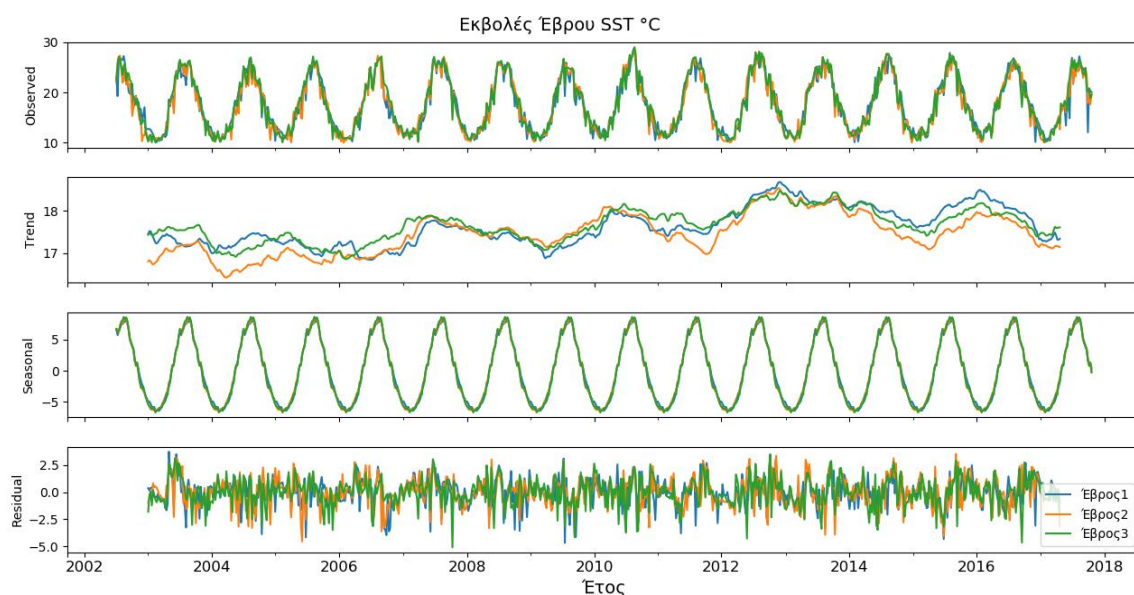
Ταυτόχρονα, εξετάζοντας την επίδραση των κρύων νερών της Μαύρης Θάλασσας που εισέρχονται στον Κόλπο της Αλεξανδρούπολης, δημιουργήθηκαν οι παρακάτω χάρτες (Εικόνα 49). Σημειώνεται, πως το εύρος τιμών απεικόνισης ορίστηκε από 0.1 έως 2  $\text{mg m}^{-3}$ , που προκύπτει από το εύρος τιμών της χλωροφύλλης-α όπως αυτό αποτυπώνεται στο συγκεντρωτικό/διαδραστικό διάγραμμα της περιοχής αλλά και στις δορυφορικές εικόνες του A-MODIS.



Εικόνα 49: Η κατανομή της χλωροφύλλης-α κατά την ανάμειξη των νερών στον Κόλπο της Αλεξανδρούπολης το έτος 2015

Στους χάρτες αυτούς, αποτυπώνεται η σταδιακή ανάμειξη των υδάτων στον Κόλπο της Αλεξανδρούπολης κατά το φθινόπωρο του 2015. Συγκεκριμένα, τα ψυχρά, υψηλά σε αλατότητα νερά της Μαύρης Θάλασσας εισέρχονται στον κόλπο, όπου συναντούν τα πλούσια σε θρεπτικά συστατικά νερά του Έβρου, τα οποία έχουν παρασυρθεί από το αντικυκλωνικό ρεύμα. Λόγω αυτού του φαινομένου, μέσα σε λιγότερο από ένα μήνα, τα ύδατα της περιοχής εμφανίζουν αύξηση στις συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης-α κατά περίπου  $0.5 \text{ mg m}^{-3}$ .

## (β) Θερμοκρασία



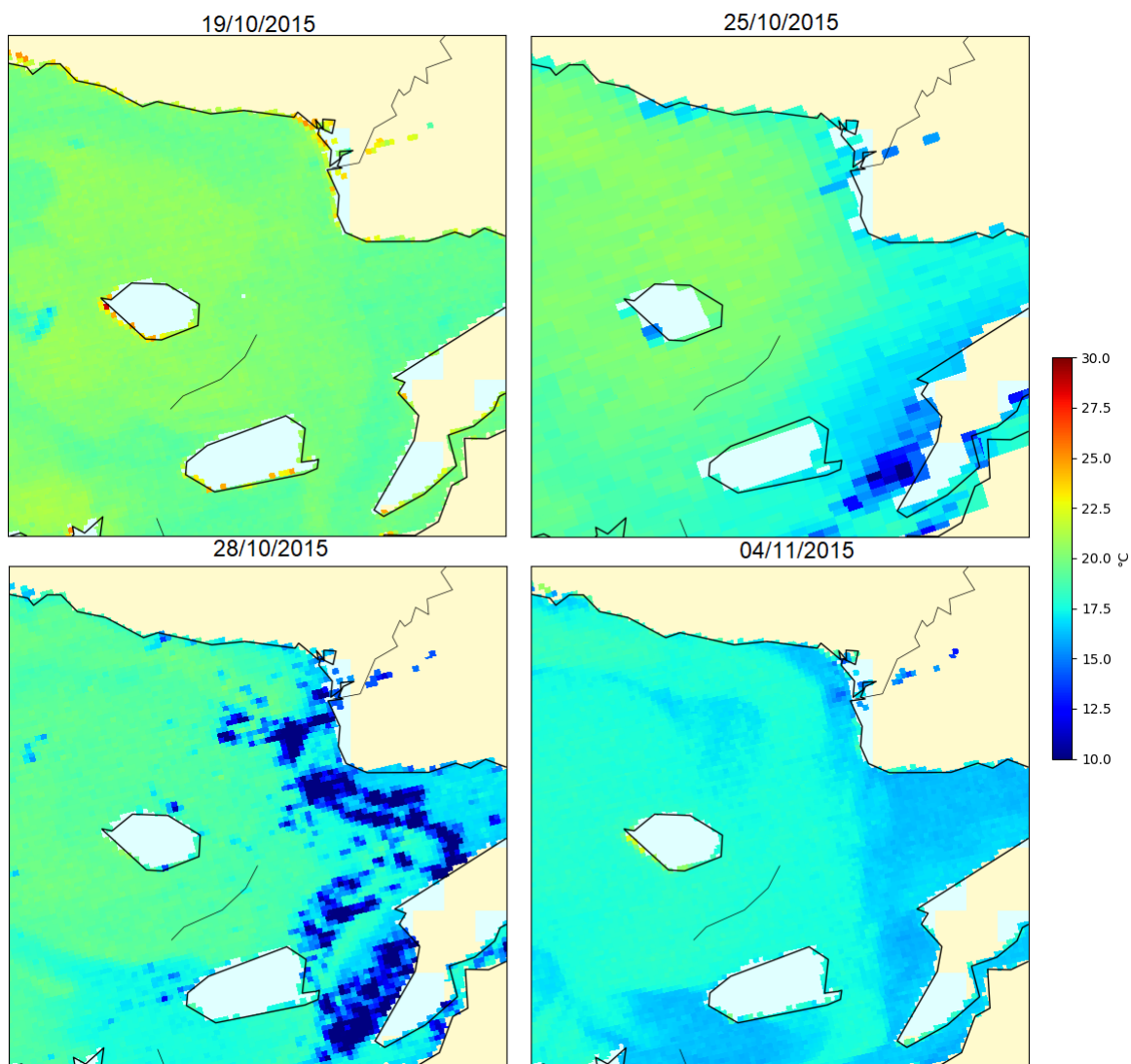
Εικόνα 50: Ανάλυση χρονοσειράς SST στον Κόλπο της Αλεξανδρούπολης

Όσο αφορά την επιφανειακή θερμοκρασία του νερού στα 3, υπό μελέτη, σημεία το εύρος τιμών είναι 10-30 °C. Και σε αυτή την περιοχή το θερμότερο έτος φαίνεται να είναι το 2012 με μέση επιφανειακή θερμοκρασία νερού του έτους να είναι 20°C.

Τα νερά στην περιοχή είναι εμφανώς ψυχρότερα σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές αφού η μέση τιμή της θερμοκρασίας ανά έτος είναι 1-3°C μικρότερη από άλλες περιοχές. Για τη διαφορά αυτή, ευθύνονται τα κρύο νερά της Μαύρης Θάλασσας που έρχονται στην περιοχή μέσω ρευμάτων.

Διερευνώντας την κυκλοφορία του νερού, την επίδραση των ρευμάτων και την ανάμειξη των νερών στην περιοχή, δημιουργήθηκαν οι χάρτες (Εικόνα 51) που ακολουθούν στην επόμενη σελίδα, από τις δορυφορικές εικόνες του MODIS. Οι χάρτες αυτοί, αποτυπώνουν την διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας, κατά το φθινόπωρο του 2015, και συγκριμένα στη διάρκεια περίπου 2 εβδομάδων, στα τέλη Οκτωβρίου με αρχές Νοεμβρίου.

Τα νερά της Μαύρης Θάλασσας εισέρχονται στον κόλπο σταδιακά και παρασύρονται από τα ρεύματα της περιοχής. Με τον τρόπο αυτό, μέσα σε 10 μέρες, φαίνεται να έχουν επιδράσει στη θερμοκρασία του νερού, μειώνοντας την κατά περίπου 3°C



Εικόνα 51: Η κατανομή της θερμοκρασίας των επιφανειακών νερών ανάμειξη των υδάτων στον Κόλπο της Αλεξανδρούπολης το έτος 2015



## 6. Συμπεράσματα και Προοπτικές

Στο κεφάλαιο αυτό, αναφέρονται τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν από το σύνολο των εργασιών και αποτελεσμάτων που αναλύθηκαν στις προηγούμενες ενότητες.

### 6.1. Συμπεράσματα

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, φαίνεται να έδωσε αξιόπιστα αποτελέσματα στην πλειοψηφία των περιοχών που μελετήθηκαν. Συγκεκριμένα, σε περιοχές της ανοιχτής θάλασσας όπως ο Αντικυκλώνας της Ιεράπετρας, τα αποτελέσματα αποτυπώνουν την τάση της χλωροφύλλης-α και της θερμοκρασίας με επιτυχία.

Αντίθετα, στους κλειστούς κόλπους η διαχείριση ήταν πιο δύσκολη, αφού ο δορυφόρος υπερετιμούσε τις τιμές της χλωροφύλλης σε σημεία που είναι κοντά στη στεριά (π.χ. Μαλιακός Κόλπος). Παρόλα αυτά, η παραπάνω μεθοδολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογηθεί η ευρύτερη τάση αλλά και η εποχικότητα τόσο της θερμοκρασίας των επιφανειακών νερών όσο και της χλωροφύλλης-α.

Γενικότερα, σε όλες τις περιοχές η χλωροφύλλης έχει σταθερή ή ανοδική τάση, ενώ ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στους κλειστούς κόλπους (Μαλιακός Κόλπος και Αντίκυρα), όπου οι διαρκής εναπόθεση ρυπαντικών ουσιών από βιομηχανικές/γεωργικές/οικιακές δραστηριότητες προκαλεί απότομες αυξήσεις στη συγκέντρωση του φυτοπλαγκτού. Η μόνη περιοχή με πτωτική τάση της χλωροφύλλης-α είναι τα σημεία στο Σαρωνικό Κόλπο. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει την σχετική επιτυχία της λειτουργίας του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυτάλλειας.

Από την άλλη πλευρά, η θερμοκρασία των επιφανειακών νερών, τόσο στις περιοχές ανοιχτής θάλασσας όσο και στους κλειστούς κόλπους παρουσιάζει ανοδική τάση. Ιδιαίτερα από το 2012 και μετά ο ρυθμός της ανοδικής τάσης αυξάνεται σημαντικά. Το γεγονός αυτό είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την παγκόσμια κλιματική αλλαγή, η οποία ενισχύεται από τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και καθιστά τη μοντελοποίηση και παρακολούθηση της θερμοκρασίας επιφανειακών υδάτων αναγκαιότητα.

Η σχέση μεταξύ χλωροφύλλης-α και θερμοκρασίας είναι σταθερά αντίθετη. Οι υψηλές τιμές χλωροφύλλης-α εμφανίζονται κατά κύριο λόγο το χειμώνα και την άνοιξη, όταν η θερμοκρασία των υδάτων είναι σε χαμηλά επίπεδα. Ταυτόχρονα, οι κατακρημνίσεις ακολουθούν το ίδιο μοτίβο με την χλωροφύλλη-α και συνεπώς αντίθετο με την θερμοκρασία του νερού.

## 6.2. Προοπτικές

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, την αξιολόγηση του αλλά και τη σχετική βιβλιογραφία, προέκυψαν οι παρακάτω προτάσεις ώστε να μοντελοποιηθεί η παρακολούθηση των επιπέδων της χλωροφύλλης-α και της επιφανειακής θερμοκρασίας του νερού και κατ' επέκταση η ποιότητα των θαλάσσιων οικοσυστημάτων.

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, την αξιολόγηση του αλλά και τη σχετική βιβλιογραφία, προέκυψαν οι παρακάτω προτάσεις ώστε να μοντελοποιηθεί η παρακολούθηση των επιπέδων της χλωροφύλλης-α και της επιφανειακής θερμοκρασίας του νερού και κατ' επέκταση η ποιότητα των θαλάσσιων οικοσυστημάτων.

- Αρχικά, προτείνεται να ενισχυθούν περαιτέρω οι κανόνες που περιγράφηκαν παραπάνω, ώστε να γενικευθούν για τα δεδομένα του A-MODIS στην Ανατολική Μεσόγειο Θάλασσα.
- Επιπλέον, το σύστημα που παρουσιάστηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες περιοχές που παρουσιάζουν ενδιαφέρον με σκοπό να γίνει ανάλυση των χρονοσειρών και αξιολόγηση των μεταβολών της θερμοκρασίας και της χλωροφύλλης (π.χ Rhodos gyre, Cretan cyclone, Αμβρακικός κόλπος, Θερμαϊκός κόλπος, κόλπος της Καβάλας).
- Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε μπορεί να εφαρμοστεί και σε αντίστοιχα δορυφορικά ωκεανογραφικά προϊόντα (αρχεία .nc) από άλλους δορυφόρους (π.χ Sentinel-3) καθώς και στα δορυφορικά προϊόντα A-MODIS (Level 3) με σκοπό τη χωροχρονική μελέτη των παραμέτρων ποιότητας των υδάτων.
- Το σύστημα που δημιουργήθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για περισσότερους δείκτες ποιότητας των υδάτων αλλά και για τις οπτικές ιδιότητες και να γίνει σύγκριση μεταξύ αυτών (π.χ cdom κ.α).
- Τέλος, βάση των χρονοσειρών που έχουν εξαχθεί μπορεί να γίνει μια σύγκριση των δορυφορικών δεδομένων με *in-situ* μετρήσεις στο χρόνο, ανάλογα με τις περιοχές που είναι διαθέσιμες.

# Βιβλιογραφία

## Διεθνής Βιβλιογραφία

- [1] Armstrong E., «MODIS Sea Surface Temperature (SST) Products», JPL PO.DAAC, 2007
- [2] Carswell T., «Evaluation of MODIS-Aqua Atmospheric Correction and Chlorophyll Products of Western North American Coastal Waters Based on 13 Years of Data», Remote Sensing, 2017
- [3] Carswell T., Costa M., Young E., Komick N., Gower J. και Sweeting R., «Evaluation of MODIS-Aqua Atmospheric Correction and Chlorophyll Products of Western North American Coastal Waters Based on 13 Years of Data», Remote Sensing, 2017
- [4] Eifler, W. και C. J. Donlon, «Modeling the thermal surface signature of breaking waves», Journal of Geophysical Research: Oceans, 2001
- [5] Ganoe R., DeYoung R.J., «Remote Sensing of Dissolved Oxygen and Nitrogen in Water Using Raman Spectroscopy», NASA, 2013
- [6] Gerin, R., Poulain, P.-M., Taupier-Letage, I., Millot, C., Ben Ismail, S. et al. «Surface circulation in the Eastern Mediterranean using drifters (2005-2007)». Ocean Science, 2009
- [7] Gotsis-Skretas O., Igantiades L., «Phytoplankton in Pelagic and Coastal Waters. State of the Hellenic Marine Environment.» Editors: E. Papathanasiou και A. Zanetos, HCMR, 2005
- [8] Hu, C., Lee Z., Franz B., «Chlorophyll  $\alpha$  algorithms for oligotrophic oceans: A novel approach based on three-band reflectance difference», Journal of Geophysical Research Vol. 117, 2012
- [9] Lykousis V., Chronis G., Tselepides A., Theocharis A., Siokou-Fragou., Van Wambeke F., Danovaro R., Stavrakis S., Duineveld G., Georgopoulos D., Ignatiades L., Voutsinou-Taliadouri F., Souvermezoglou A., «Major outputs of the recent multidisciplinary biochemical researches in the Aegean Sea., 2002
- [10] Oviedo, A., Ziveri, P., Álvarez, M., Tanhua, T., «Is coccolithophore distribution in the Mediterranean Sea related to seawater carbonate chemistry?», Ocean Science, 2015



- [11] Popov Y.I., «Experimental and field research genesis and structure of the anticyclonic Ierapetra zone in the Levantine basin.», Physical Oceanograph, 2004
- [12] Qu J.J., Gao W. «Earth Science Satellite Remote Sensing Vol.1: Science and Instruments», ISBN:10 3-540-35606-1, 2006
- [13] Salomonson, V.V., Barnes, William, Masuoka, E.J., Introduction to MODIS and an overview of associated activities. Earth Science Satellite Remote Sensing: Science and Instruments, 2006
- [14] Shaltout M., Omstedt, A., «Recent sea surface temperature trends and future scenarios for the Mediterranean Sea», 2014
- [15] Sykioti O., Florou H., Mavrokefalou G., Evangeliou N., «Correlations of salinity, temperature and ocean colour variations from SMOS and MODIS satellite data in the Eastern Mediterranean for creating an inventory data base as to be compared to conservative radionuclides for remote recording under routine and case», 10th International Geographical Congress, 2014
- [16] Thiemann S. και Kaufmann H., «Determination of Chlorophyll Content and Trophic State of Lakes Using Field Spectrometer and IRS-1C Satellite Data in the Mecklenburg Lake District, Germany,» Remote Sensing of Environment, 2000
- [17] Varkitzi I., Markogianni V., Pantazi M., Pagou K., Pavlidou A., Dimitriou E., «Effect of river inputs on environmental status and potentially harmful phytoplankton in a coastal area of eastern Mediterranean (Maliakos Gulf, Greece).» Mediterranean Marine Science, 2018

## **Ελληνική Βιβλιογραφία**

- [18] Αλεξανδρόπουλος Χρ. «Διαχείριση θαλάσσιας ρύπανσης: Η περίπτωση του Σαρωνικού Κόλπου», Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2018
- [19] Ασημακοπούλου Γ., Ζερβουδάκη Σ., Πάγκου Κ., Κωνσταντινοπούλου Α., Ζούλιας Θ., Κρασάκοπούλου Ε., Σιώκου Ι., Χρήστου Ε., «Χλωροφύλλη και βιομάζα μεσοζωοπλαγκτού στον Σαρωνικό κόλπο: Τάσεις και συμπεράσματα για την περίοδο 1987-2010.», 11ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας, 2015

- [20] Ασημακοπούλου Γ., Παναγιωτίδης Π., Ζούλιας Θ., «Συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α στον υγρό στίβο του Ολυμπιακού Κέντρου Κωπηλασίας στο Σχοινιά», Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών, 2016
- [21] Γουργιώτης Α. «Η μορφοδυναμική των ακτών στον όρμο του Αγίου Ισίδωρου/Αντίκυρας (Κορινθιακός Κόλπος), 7<sup>ο</sup> Συμπόσιο Ωκεανογραφίας και Αλιείας, 2003
- [22] Δασενάκης Μ., Νικολαΐδου Α. Πούλος Σ., «Ποιότητα του θαλάσσιου περιβάλλοντος στο Μαλιακό Κόλπο», Ελεύθερο Βήμα, 2013
- [23] Εμμανουήλ Δ., Πιπέρης Φ., Οικονόμου Ε., «Μελέτη παρακολούθησης του αντικυκλώνα της Ιεράπετρας μέσω δορυφορικών δεδομένων TOPEX/JASON και GOCE», 11ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας, 2015
- [24] Θεολόγου Ι., «Εκτίμηση και χαρτογράφηση ποιοτικών χαρακτηριστικών σε υδάτινους αποδέκτες με τεχνικές τηλεπισκόπησης: Η περίπτωση της λίμνης Κάρλας», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. 2014
- [25] Θεριανός, Α.Δ., «Η γεωγραφική κατανομή της παροχής των Ελληνικών ποταμών.», Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, 1974
- [26] Καλόςσας Δ. «Οι επιπτώσεις της ναυσιπλοΐας στο θαλάσσιο περιβάλλον του Σαρωνικού Κόλπου υπό το πρίσμα των σύγχρονων μεθόδων ολοκληρωμένης διαχείρισης των παράκτιων ζωνών», Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2000
- [27] Καρδισά Α., Πούλος Σ., Ζερβάκης Β., «ΔΥΝΑΝΤΑΙ ΟΙ ΠΟΤΑΜΙΕΣ ΑΠΟΡΡΟΕΣ ΝΑ ΕΧΟΥΝ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΕΙΜΕΝΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ; Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΕΚΒΟΛΩΝ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΕΒΡΟΥ (ΚΟΛΠΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ)», 8ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας, 2010
- [28] Κοκιάλης Αλ., «Ανάλυση χρονοσειρών και πρόβλεψη εκφορτώσεων μικρών πελαγικών ειδών στο Βόρειο Αιγαίο», Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2007
- [29] Κωτούλας Δ., «Ερευνα του χαρακτήρα των χειμαρικών ρευμάτων στην Ελλάδα ως παράγοντα υποβάθμισης ορεινών λεκανών και πλημμυρογένεσης. Μέρος Ι, Λεκάνη απορροής ποταμού Σπερχείου. Αριστοτέλειο», Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 1987

- [30] Λεοντοπούλου Γ. , «Ιζηματολογικά Χαρακτηριστικά Των Υποθαλάσσιων Αποθέσεων Ερυθράς Ιλύος (Μεταλλοφόρων Βωξιτικών Αποβλήτων) Στον Κεντρικό Κορινθιακό Κόλπο», Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών
- [31] Μεντζαφού Α., Μαρκογιάννη Β. και Δημητρίου Η., «Τεχνική έκθεση με τις χωροχρονικές μεταβολές των περιβαλλοντικών παραμέτρων.» ΚΡΗΠΙΣ-ΙΘΑΒΠΙΕΥ, ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε., 2015
- [32] Μουντογιαννάκη Δ., «Εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων σε παράκτιες περιοχές της Ευρώπης με υψηλής ανάλυσης πολυφασματικά τηλεπισκοπικά δεδομένα», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2015.
- [33] Ναουμίδου Ε., «Ανάλυση περιβαλλοντικών και υδρογραφικών παραμέτρων περιοχών Δ.Αιγαίου Πελάγους, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, 2008
- [34] Νταρακάς Ε., «Ποιοτικά χαρακτηριστικά και διεργασίες επεξεργασίας του νερού», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010
- [35] Παρασκευοπούλου Β., Δασενάκης Μ., Σκούλλος Μ., «ΔΙΑΛΥΤΟΣ ΚΑΙ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΣ ΧΑΛΚΟΣ ΣΤΟ ΣΑΡΩΝΙΚΟ ΚΟΛΠΟ: ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 25 ΕΤΩΝ (1985-2010)», 10ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας, 2012
- [36] Παρχαρίδης Ι., «Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και εφαρμογές», ISBN:978-960-603-443-5, 2015
- [37] Τσαμούρα Ε., «Αξιολόγηση Μοντέλων Εκτίμησης Επιπέδων Χλωροφύλλης και Θερμοκρασίας στην Νοτιοανατολική Μεσόγειο από Δορυφορικά Δεδομένα MODIS και Sentinel-3», Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, 2017
- [38] Τσάπανου, Α., Τσέπα Ε., Πούλος Σ., Οικονόμου Ε., Συλαίος Γ., Καρδιτσά Α. (2016), «Αξιολόγηση δύο δορυφορικών εικόνων πολλαπλής ανάλυσης για τον υπολογισμό της επιφανειακής περιεκτικότητας αιωρούμενου υλικού (SPM) στον κόλπο της Αλεξανδρούπολης», ΒΑ Αιγαίο, Ελλάδα., 3<sup>ο</sup> Διεθνές Γεωπολιτισμικό Συμπόσιο «ΣΑΜΑΡΙΑ»
- [39] Φιλίππου Ε., «Ποιοτική και ποσοτική συγκριτική αξιολόγηση ατμοσφαιρικών διορθώσεων σε δορυφορικά δεδομένα Landsat-8, Sentinel-2 και MODIS», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2016

[40] Χατζηπαναγιώτου Δ., «Η κλιματική αλλαγή πλήττει τους φτωχούς», ΠΙΠΙΝ, 2019

[41] Ψωμιάδης Ε., «Έρευνα γεωμορφολογικών και περιβαλλοντικών μεταβολών στην υδρολογική λεκάνη του Σπερχειού ποταμού με χρήση νέων τεχνολογιών». Διδακτορική Διατριβή. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, 2010

### **Σχετική Βιβλιογραφία**

[42] Blondeau-Patissier D., Gower J.F.R., Dekker A.G., Phinn S.R., Brando V.E., « A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans», ELSEVIER, 2014

[43] Colella S., Falcini F., Rinaldi E., Sammartino M., Santoleri R., «Mediterranean Ocean Colour Chlorophyll Trends», PLoS ONE 11, 2016

[44] Goela P., Cordeiro C., Danchenko S., John I., Cristina S., Newton A., «Time series analysis of data for sea surface temperature and upwelling components from the southwest coast of Portugal», ELSEVIER, 2016

[45]Mikaelyan A.S., Shapiro G.I., Chasovnikov V.K., Wobus F., Zancchi M., « Drivers of the autumn phytoplankton development in the open Black Sea», ELSEVIER, 2017

[46] Pavlidou A., Simboura N., Rousselaki Eleni, Tsaparakis M., Pagou K., Drakopoulou P., Assimakopoulou G., Kontoyannis H., Panayotidis P., «Methods of eutrophication assessment in the context of the water framework directive: Examples from the Eastern Mediterranean coastal areas», ELSEVIER, 2015

[47] Raitsos D.E., Pradhan Y., Brewin R.J.W., Stenchikov G., Hoteit I., «Remote Sensing the Phytoplankton Seasonal Succession of the Red Sea», PLoS ONE 8, 2013

### **Διαδικτυακοί τόποι**

[48] <https://www.usgs.gov/>

[49] <https://power.larc.nasa.gov/>

[50] <https://modis.gsfc.nasa.gov/>

[51] <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>

- [52] <https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/>
- [53] <https://directory.eoportal.org/>
- [54] <https://terra.nasa.gov>
- [55] <https://aqua.nasa.gov>
- [56] <http://marine.copernicus.eu/>
- [57] <https://www.greenpeace.org>
- [58] <http://ecodonet.uoi.gr>
- [59] <https://oceanservice.noaa.gov/>

## Παράρτημα Εικόνων

Εικόνα 1: Η κατανομή του νερού στον πλανήτη (Πηγή: <a href="https://www.usgs.gov/">https://www.usgs.gov/</a> ).....	6
Εικόνα 2: Φασματική υπογραφή των μορφών χλωροφύλλης A, B και C (Πηγή: <a href="http://www.fondriest.com">http://www.fondriest.com</a> ).....	12
Εικόνα 3: Απεικόνιση του δορυφόρου Aqua (Πηγή: <a href="https://aqua.nasa.gov">https://aqua.nasa.gov</a> ).....	18
Εικόνα 4: Η τάση της χλωροφύλλης στη Μεσόγειο (Πηγή: Colella et. al 2016).....	24
Εικόνα 5: Η λεκάνη της Μεσογείου (Πηγή: Bricaud et al. 2002).....	26
Εικόνα 6: Ο Μαλιακός Κόλπος .....	27
Εικόνα 7: Οι αντικυκλώνες της ΝΑ Μεσογείου (Πηγή: Theocharis et. al, 2013) .....	29
Εικόνα 8: Κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Ψυτάλλειας.....	31
Εικόνα 9: Η κυκλοφορία των υδάτων στο Β.Αιγαίο (Πηγή: Lykousis et. Al 2002) .....	32
Εικόνα 10: Χάρτης Chl-a της Αν. Μεσογείου .....	33
Εικόνα 11: Οι κατηγορίες των παραμέτρων της εφαρμογής DAV (Πηγή: <a href="https://power.larc.nasa.gov/">https://power.larc.nasa.gov/</a> ).....	34
Εικόνα 12: Οι θέσεις των επιλεγμένων σημείων στην Αν. Μεσόγειο .....	35
Εικόνα 13: Χάρτης SST της Αν. Μεσογείου.....	36
Εικόνα 14: Απόσπασμα του κώδικα εξαγωγής.....	38
Εικόνα 15: Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου εξαγωγής.....	39
Εικόνα 16: Ανάλυση χρονοσειρών χλωροφύλλης-α στον Κόλπο της Αντίκυρας .....	42
Εικόνα 17: Διασπορά τιμών chl-a στον Κόλπο της Αντίκυρας.....	43
Εικόνα 18: Το περιβάλλον του SeaDAS .....	44
Εικόνα 19 Παράδειγμα συγκριτικού διαγράμματος βροχοπτώσεων, chl-a, sst .....	45
Εικόνα 20: Η θέση του σημείου στο Μαλιακό Κόλπο .....	46
Εικόνα 21: Ανάλυση χρονοσειράς chl-a στο Μαλιακό Κόλπο .....	47
Εικόνα 22: Συγκριτικό διάγραμμα του Μαλιακού Κόλπου .....	48
Εικόνα 23: Ανάλυση χρονοσειράς SST στο Μαλιακό Κόλπο.....	49
Εικόνα 24 Οι θέσεις των σημείων στον Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας .....	50
Εικόνα 25: Διαγράμματα συσχέτισης Chl-a, SST στον Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας .....	51
Εικόνα 26: Ανάλυση χρονοσειράς chl-a στον Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας.....	51
Εικόνα 27: Συγκριτικό διάγραμμα Chl-a και SST του Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας .....	52
Εικόνα 28: Διαχρονικές μεταβολές (2006-2011) Chl-a στον Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας.....	53
Εικόνα 29: Ανάλυση χρονοσειράς SST στον Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας .....	54
Εικόνα 30: : Ο Αντικυκλώνας της Ιεράπετρας στις 26/8/2006.....	55

Εικόνα 31: Διαχρονική διακύμανση (2006-2011) της SST στον Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας ..	56
Εικόνα 32: Οι θέσεις των σημείων στον Κόλπο της Αντίκυρας .....	57
Εικόνα 33: Συσχετίσεις Chl-a, SST στον Κόλπο της Αντίκυρας .....	57
Εικόνα 34: Ανάλυση χρονοσειράς Chl-a στον Κόλπο της Αντίκυρας.....	58
Εικόνα 35: Ανάλυση χρονοσειράς SST στον Κόλπο της Αντίκυρας.....	59
Εικόνα 36: Συγκριτικό διάγραμμα Chl-a, SST του Κόλπου της Αντίκυρας.....	60
Εικόνα 37: Διαχρονική διακύμανση (2010-2017) SST το μήνα Ιούλιο στον Κορινθιακό Κόλπο .....	61
Εικόνα 38: Οι θέσεις των σημείων στον Σαρωνικό Κόλπο .....	61
Εικόνα 39: Διαγράμματα συσχέτισης Chl-a, SST στο Σαρωνικό Κόλπο .....	62
Εικόνα 40: Ανάλυση χρονοσειράς Chl-a στον Σαρωνικό Κόλπο .....	63
Εικόνα 41: Συγκριτικό διάγραμμα Chl-a, SST του Σαρωνικού Κόλπου.....	64
Εικόνα 42: Διαχρονική διακύμανση της chl-a στον Σαρωνικό Κόλπο .....	65
Εικόνα 43: Ανάλυση χρονοσειράς Chl-a στον Σαρωνικό Κόλπο .....	66
Εικόνα 44: Διαχρονική διακύμανση (2011-2016) SST στον Σαρωνικό Κόλπο .....	67
Εικόνα 45: Οι θέσεις των σημείων στον Κόλπο της Αλεξανδρούπολης.....	68
Εικόνα 46: Ανάλυση χρονοσειράς Chl-a στον Κόλπο της Αλεξανδρούπολης .....	69
Εικόνα 47: Επίδραση των ρευμάτων στη χλωροφύλλη-α κατά το πρώτο 3μηνο του 2015 στον Κόλπο της Αλεξανδρούπολης.....	70
Εικόνα 48: Συγκριτικό διάγραμμα Chl-a και SST στον Κόλπο της Αλεξανδρούπολης .....	70
Εικόνα 49: Η κατανομή της χλωροφύλλης-α κατά την ανάμειξη των νερών στον Κόλπο της Αλεξανδρούπολης το έτος 2015 .....	71
Εικόνα 50: Ανάλυση χρονοσειράς SST στον Κόλπο της Αλεξανδρούπολης.....	72
Εικόνα 51: Η κατανομή της θερμοκρασίας των επιφανειακών νερών ανάμειξη των υδάτων στον Κόλπο της Αλεξανδρούπολης το έτος 2015 .....	73



## Παράρτημα Πινάκων

Πίνακας 1: Επίπεδα ευτροφισμού στα θαλάσσια οικοσυστήματα της Ελλάδας (Πηγή: Gotsis-Skretas et al. 2005).....	13
Πίνακας 2: Τα κανάλια του δέκτη MODIS (Πηγή: <a href="https://modis.gsfc.nasa.gov/">https://modis.gsfc.nasa.gov/</a> ) .....	17
Πίνακας 3: Τα όργανα του Terra (Πηγή: <a href="https://terra.nasa.gov">https://terra.nasa.gov</a> ) .....	18
Πίνακας 4: Τα όργανα του Aqua (Πηγή: <a href="https://aqua.nasa.gov">https://aqua.nasa.gov</a> ) .....	19
Πίνακας 5: Τα προϊόντα του MODIS (Πηγή: <a href="https://aqua.nasa.gov">https://aqua.nasa.gov</a> ) .....	19
Πίνακας 6: Επίπεδα ποιότητας SST (Πηγή: <a href="https://power.larc.nasa.gov/">https://power.larc.nasa.gov/</a> ) .....	20
Πίνακας 7: Ποιοτικοί δείκτες Chl-a (Πηγή: <a href="https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/">https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/</a> ) .....	22
Πίνακας 8: Επιλεγμένες περιοχές και αριθμός σημείων .....	37
Πίνακας 9: Μοντέλα ανάλυσης χρονοσειρών .....	41